



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA -UniCEUB
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MARCOS JOSÉ DE CARVALHO FONTES

AUTOMAÇÃO DE SENSORES DE CORRENTE ELÉTRICA

Orientador: Prof.^a Maria Marony de Sousa Faria

Brasília
Dezembro, 2013

MARCOS JOSÉ DE CARVALHO FONTES

AUTOMAÇÃO DE SENSORES DE CORRENTE DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília
(UniCEUB) como pré-requisito
para a obtenção de Certificado de
Conclusão de Curso de
Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Maria Marony
de Sousa Farias

Brasília
Dezembro, 2013

MARCOS JOSÉ DE CARVALHO FONTES

AUTOMAÇÃO DE SENSORES DE CORRENTE ELÉTRICA

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília
(UniCEUB) como pré-requisito
para a obtenção de Certificado de
Conclusão de Curso de
Engenharia de Computação.
Orientador: Prof. Maria Marony

de Sousa Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de
Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências
Sociais Aplicadas -FATECS.

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. nome, titulação.
Orientador

Prof. nome, titulação.
Instituição

Prof. nome, titulação.
Instituição

Prof. nome, titulação.
Instituição

Dedico este trabalho a meus pais que sempre torceram por minha vitória Latino da Silva Fontes e a Maria Helena de Carvalho Fontes e a minha esposa Cecília e a meus filhos Leo, Mariana, Gabriela e Letícia por todo apoio.

Marcos José de Carvalho Fontes

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me abençoado com uma família unida e que sempre me apoiou em todos os momentos para que esse projeto se tornasse realidade.

Agradeço a minha esposa, companheira e amiga Cecília S. T. Fontes por ter me acompanhado nesse caminho me incentivando e apoiando nos bons e maus momentos.

Aos meus filhos Leo, Mariana, Gabriela e Letícia pela compreensão e apoio nesses tempos de ausência.

Aos meus pais Latino e Maria Helena por sempre me aconselhar e orientar o caminho certo e minhas irmãs Ana Maria e Maria Isabel pelo incentivo e apoio.

Ao casal amigo Alexandre Silva Cavalcante e Fabiana Mansur Cavalcante que sem seu apoio seria impossível o fechamento dessa caminhada.

A todos os professores do curso de engenharia da computação que levam seu trabalho tão a sério e com muita competência.

Muito Obrigado!

Marcos José de Carvalho Fontes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo Geral.....	15
1.2 Objetivo Específico.....	15
1.3 Motivação.....	16
1.4 Estrutura do Projeto.....	16
CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	17
2.1 Sistema Elétrico.....	17
2.2 Medidores de Energia.....	18
2.3 Medidores Monofásicos de Indução Eletromecânicos.....	19
2.4 Medidor Eletrônico.....	23
2.5 Energia Elétrica.....	25
2.6 Fator de Potência.....	26
2.7 Tarifas de Consumo.....	27
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO.....	30
3.1 Arduino.....	30
3.1.1 Fonte de Alimentação.....	31
3.1.2 Núcleo CPU.....	31
3.1.3 Entradas e Saídas.....	32
3.1.4 Entradas Digitais.....	33
3.1.5 Entradas Analógicas.....	33
3.1.6 Área de Desenvolvimento e Estrutura de Linguagem.....	33
3.2 Sensor de Corrente SCT – 013 – 000.....	34
3.3 Protocolo ZigBee.....	36
3.3.1 Manutenção da Rede Elétrica.....	38
3.4 Modulos de Comunicação Xbee.....	39
3.5 Display de Cristal Líquido.....	43
CAPÍTULO 4 - MODELO PROPOSTO.....	46
4.1 Apresentação do Protótipo.....	46
4.2 Sensor de Tensão.....	47
4.3 Calibragem do Sensor de Corrente.....	48
4.4 Configuração dos Modulos XBees.....	49
4.5 Teste do Software.....	51

4.5.1	Teste do Software 2.....	52
4.6	Teste do Dispositivo.....	56
4.7	Modelo Proposto.....	58
CAPITULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		59
5.1	Conclusões.....	59
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	60
REFERÊNCIAS		61
APENDICE A.....		64
APÊNDICE B.....		65

LISTA DE FIGURAS

2

Figura 2.1 - Esquema básico do sistema elétrico	17
Figura 2.2 - Esquema do Sistema Elétrico Brasileiro.....	18
Figura 2.3 - Componentes básicos do medidor tipo indução.....	20
Figura 2.4 - Vista explodida do medidor monofásico M12 da Landis&Gyr.....	21
Figura 2.5 - Visão frontal dos medidores respectivamente Ciclométrico e Digital	22
Figura 2.6 - Diagrama de blocos do medidor eletrônico GE I-210.....	24
Figura 2.7 - Medidor eletrônico de energia ativa e reativa GE I-210.....	25
Figura 2.8 - Diagrama de Fazores.....	27
Figura 2.9 - Comparação entre a modalidade tarifária convencional e a tarifa branca.....	29

3

Figura 3.1 - Arquitetura Arduino.....	30
Figura 3.2 - Divisão de blocos do Arduino.....	32
Figura 3.3 - Chip ATMEGA 328.....	32
Figura 3.4 - IDE Arduino.....	35
Figura 3.5 - Sensor de Corrente Não Invasivo YHDC SCT – 013.....	35
Figura 3.6 - Características Técnicas.....	35
Figura 3.7 - Posicionamento das Tecnologia Sem Fio.....	37
Figura 3.8 -Topologias ZigBee.....	38
Figura 3.9 - Sistema Elétrico com central ZigBee.....	39
Figura 3.10 - Montagem: XBee + XBee Shield + Arduino.....	40
Figura 3.11 - Montagem: XBee + XBee Explorer.....	40
Figura 3.12 - Ambiente de programação XBee X-CTU.....	41
Figura 3.13 - Frame de dado padrão RS232 (8-N-1).....	42
Figura 3.14 - Estrutura do Frame de dados no modo API.....	42
Figura 3.15 – Display de cristal líquido.....	45

4

Figura 4.1 - Topologia do Modelo.....	46
Figura 4.2 - Diagrama elétrico sensor de tensão.....	47
Figura 4.3 - Divisor de Tensão com limitador de carga.....	48
Figura 4.4- Configuração do coordenador.....	49
Figura 4.5 - Configuração do dispositivi final.....	50

Figura 4.6 - Módulos de comunicação XBee.....	50
Figura 4.7 - Código para cálculo da tensão.....	51
Figura 4.8 - Código teste fase 1 comparado com multímetro.....	52
Figura 4.9 - Conexão do sensor SCT – 013.....	53
Figura 4.10 - Conexão cabo do sensor de corrente.....	53
Figura 4.11 - Pino analógico A1 entrada sensor de corrente.....	54
Figura 4.12 - Código versão final com display.....	55
Figura 4.13 - Modelo Xbee conectado ao dispositivo.....	56
Figura 4.14 - Medidor de Consumo.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos medidores por tipo.....	19
Tabela 2.2 - Elementos do medidor monofásico.....	22
Tabela 3.1 - Descrição dos pinos dos módulos XBee/XBee-Pro.....	41
Tabela 3.2 - Módulos LCDs Disponíveis.....	43
Tabela 3.3 - Descrição dos pinos de comunicação do lcd.....	44
Tabela 4.1 Conexão dos pinos do display no Arduino.....	54
Tabela 4.2 Tabela de comparação.....	57
Tabela 6.1 Custo geral do projeto.....	64

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA	24
Equação 2.2 - EQUAÇÃO DA POTÊNCIA REATIVA	24
Equação 2.3 - EQUAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	25

RESUMO

O trabalho propõe o monitoramento de energia elétrica de uma residência monofásica com acesso remoto via interface serial tendo como finalidade colher informações necessárias para um gerenciamento em tempo real do consumo de energia elétrica. Para tal foi utilizado um circuito microcontrolador que recebe os dados de um sensor de corrente não invasivo e a tensão. Os sinais analógicos são processados para calcular a potência ativa o kwh acumulados e o custo do kwh acumulados em moeda corrente. Os resultados são enviados para um display de cristal líquido para visualização local e também enviado via rede wifi ZegBee com acesso a entrada USB de um computador.

Palavras chaves : Monitoramento, consumo, tempo real, Microcontrolador, potência ativa, kwh, custo, rede ZigBee, energia elétrica.

ABSTRACT

The paper proposes the monitoring power of a single-phase residence with remote access via serial interface and aims to gather information needed for a real-time management of monthly consumption. For this, we used a microcontroller circuit that receives a non-invasive current sensor, suitable for residential use, and voltage analog signals which are processed to calculate the active power kwh and the accumulated cost of kwh in currency. Results are sent to a liquid crystal display for local viewing and also sent by wifi ZegBee with access USB serial to a computer.

Keywords: Monitoring, consumption, real-time, microcontroller, active power, kwh cost, ZigBee network, electricity.

Capítulo 1. Introdução

No cenário mundial, a demanda de energia é grande e estamos enfrentando os efeitos de muitos anos de uso indiscriminado de energia proveniente de meios fósseis. Cientistas alertam para sérios riscos se as temperaturas globais ultrapassarem o patamar de 2° C acima dos níveis pré-industriais. Presenciamos acontecer aqui e em várias partes do mundo o aumento de temperaturas e tempestades mais fortes e frequentes. A previsão é que as alterações no clima terão impacto no modo de vida de milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento.

A ameaça das mudanças climáticas, provocadas pelo aumento da temperatura global, é o maior desafio ambiental que a humanidade enfrenta nesses tempos, pois coloca em risco a estabilidade social e econômica mundial, com profundas alterações na disponibilidade de recursos naturais e, especialmente, na forma como a energia é produzida (GREENPEACE,2010)

As nações signatárias da UNFCCC (United Nations Framework Convention Climate Change), Convenção Básica das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas, conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento que aconteceu no Rio de Janeiro em 1992, assinaram o Protocolo de Kyoto em 1997. Ele obriga seus signatários a reduzirem emissões de gases-estufa em média 5%. Esse compromisso resultou na adoção de uma série de metas de redução regionais e nacionais.

Atualmente cerca de um quinto da eletricidade mundial é produzida por meio de tecnologia hídrica. A China está em primeiro lugar no uso desta tecnologia e em segundo vem o Brasil, com projetos de construção de mais de 39 usinas hidroelétricas além das já leiloadas: Usina de Santo Antônio, Usina de Jirau e Usina de Belo Monte, todas instaladas na Amazônia, para atender a demanda em mais de 3 mil MW por ano, chegando a 15% da capacidade instalada planejada para essa década. Acompanhado dessas novas formas de captação de energia, temos o consumo racional onde devemos participar ativamente contra o desperdício de energia e atuar ativamente na vigilância do consumo.

Para que possamos ter esse gerenciamento de carga, teríamos que ter a leitura do consumido quase que diariamente para então traçar um plano de consumo racional que no final atuará em economia financeira também. Atualmente nos deparamos com medidores nada amigáveis em sua leitura através de ponteiros ou ciclométricos e seu posicionamento em diferentes lugares dificulta seu acesso.

Este projeto propõe uma interface amigável por intermédio de um dispositivo eletrônico que fará a leitura do consumo de corrente elétrica e retornará em forma local por intermédio de um *display* de cristal líquido e remotamente por módulos Xbee dispositivos de rádio frequência que trabalham no padrão ZigBee 802.15.4, 2,4 GHz que se comunicam entre si passando os dados para a plataforma de programação espelhando o que está no *display*. As informações que serão fornecidas são: consumo instantâneo medido em kW/h, consumo acumulado a partir do acionamento do dispositivo e o valor em moeda corrente acumulado até aquele instante.

1.1 Objetivo Geral

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico capaz de efetuar a leitura de um sensor não invasivo de corrente elétrica ligado a uma fase de uma residência, e transmitir estes dados para uma central onde os mesmos serão processados. Espera-se desenvolver um dispositivo que utilize um painel lcd e uma rede de transferência de dados imune a interferência e ruídos externos e disponibilizar os dados colhidos como o consumo instantâneo e valor acumulado em moeda corrente em uma interface localizada em um *laptop* a uma distância máximo de 30 metros.

1.2 Objetivos Específicos

O projeto objetiva o desenvolvimento de um dispositivo para uso de leitura de sensores de corrente elétrica tendo o estudo direcionado para os seguintes tópicos:

1. Medir kwh consumido no momento, o kwh acumulado no período de medição e o valor em moeda corrente do consumo acumulado até o momento.
2. Monitorar o consumo de energia elétrica com base no microcontrolador Arduino UNO ATmega 328.
3. Desenvolver um software básico para que os dados colhidos pelo sensor sejam processados pelo microcontrolador.
4. Apresentar os resultados das medições no *display* de cristal líquido e transmitir esses resultados por rádio frequência padrão ZigBee para PC localizado a no máximo 30 metros de distância do protótipo.
5. Contribuir para um planejamento e gerenciamento de consumo e consequente economia de energia elétrica residencial.

1.3 Motivação

Ajudar a resolver um problema antigo de compreensão dos valores mostrados pelos ponteiros dos medidores de energia elétrica, disponibilizados pelas companhias de energia elétrica que impedem a grande maioria dos usuários terem os dados de seu consumo de energia.

Em posse dos dados disponibilizados pelo dispositivo, será possível um gerenciamento de carga para reduzir os gastos e consequentemente uma redução na fatura mensal aplicando assim uma forma de consumo responsável.

1.4 Estrutura do Projeto

O trabalho tem a estrutura dividida nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 - Tipos de medidores de energia elétrica e modelos atuais e suas limitações e em outro tópico serão apresentados os medidores de corrente e como atuam.

Capítulo 3 - Apresenta o desenvolvimento do protótipo e todo referencial técnico e componente usados em sua construção.

Capítulo 4 - Aplicação prática, resultados obtidos, custo e avaliação.

Capítulo 5 - Conclusão e sugestão de trabalho futuro.

Capítulo 2. Apresentação do Problema

2.1. Sistema Elétrico

A energia elétrica percorre um grande caminho até chegar a um ponto de consumo, esse caminho passa por três partes distintas. São elas: a produção, a transmissão e a distribuição.

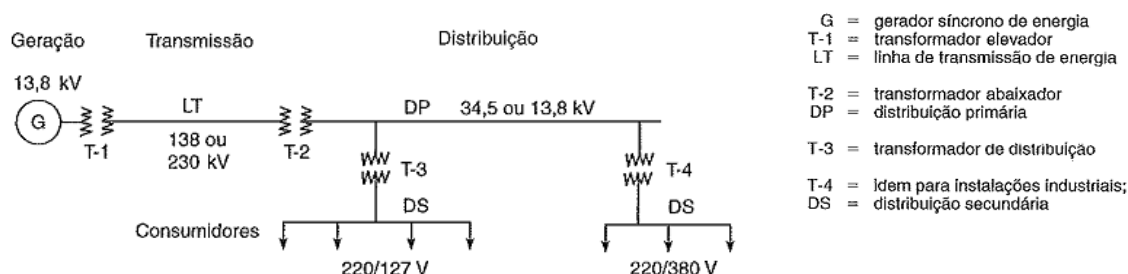


Figura 2.1 – Esquema básico do sistema elétrico. (Fonte – CREDER)

A produção de energia elétrica é normalmente gerada por energia mecânica (rotação de um eixo) através de turbinas hidráulicas movida pela força da água, no caso das hidroelétricas, pela força do vapor no caso as termoeletricas, energia nuclear no caso das usinas nucleares, usinas eólicas pela força dos ventos e usinas solares. Todos esses centros de produção chamados Usinas são interligadas entre si para atingirem os grandes pólos de consumo por meio de linhas de transmissão.

Esta interligação possibilita um gerenciamento da produção para que uma Usina nunca fique sobrecarregada e manter o sistema sempre estável, ou seja, quando uma carga é adicionada ou retirada do sistema, a Usina responsável pela estabilidade aumenta ou diminui sua geração de forma proporcional.

Essas linhas de transmissão devem trabalhar com tensões elevadas, para que os condutores, usando uma bitola menor possível, não tenham perda de energia muito alta. Assim é o trabalho de uma subestação elevadora junto as Usinas, do contrário uma subestação abaixadora atua junto à distribuição para que volte ao estado normal.

Os pólos de distribuição são responsáveis por repassar toda energia para os consumidores, que estão localizados em seus arredores. A distribuição se dá a partir da subestação abaixadora onde a tensão é abaixada para valores padronizados. Depois segue por redes de distribuição primárias onde os valores sofrerão nova baixa onde são chamados de baixa tensão (380/220 V, 220/127 V) e então pela rede de distribuição secundária chega até o consumidor final conforme Figura 2.2.

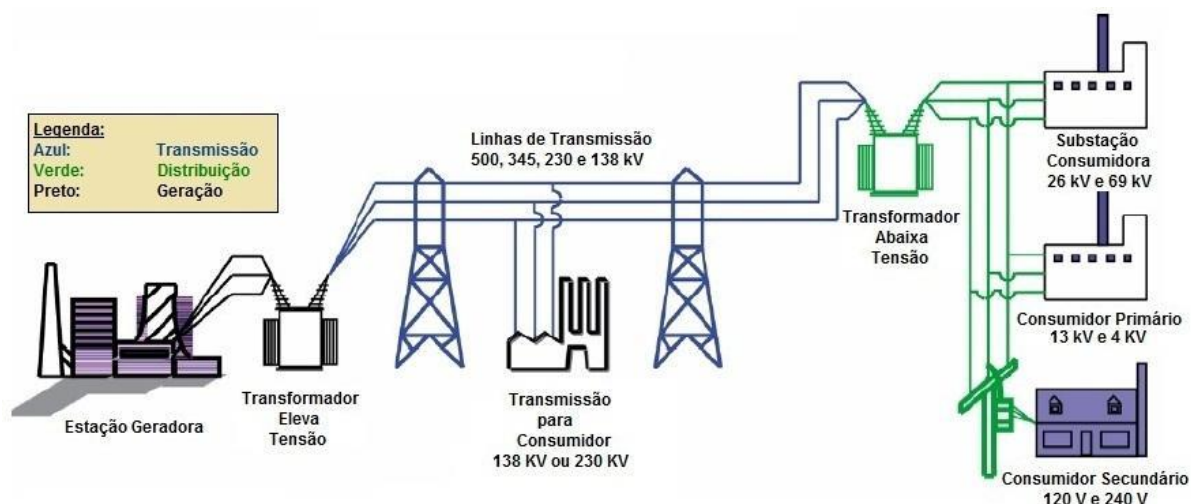


Figura 2.2 – Esquema do Sistema Elétrico Brasileiro.(Fonte - www.webpages.uidaho.edu/sustainability)

Para que houvesse uma forma de efetuar a cobrança dos serviços prestados pela fornecedora de energia elétrica (concessionária), foi disponibilizado um instrumento chamado de “Medidor”, capaz de registrar a quantidade de energia elétrica que já foi consumida.

2.2. Medidores de Energia

O primeiro modelo conhecido de medidor de energia elétrica, foi patenteado por Samuel Gardiner em 1872. Seu uso se dava com algumas lâmpadas ligadas em série com uma tensão constante e tudo comandado por uma única chave, assim apenas era necessário medir o tempo que as lâmpadas ficaram acesas. O nome dado a unidade de medição ficou conhecido como lâmpada-hora. Em 1903, a GE lançou o medidor de energia elétrica chamado Medidor Tipo 1: o primeiro a fazer as medições em watt hora para corrente alternada produzida em série.

Atualmente o medidor mais usado pelas concessionárias é do tipo de indução eletromecânico, por sua exatidão e simplicidade que possibilita sua fabricação em série e a diminuição de custo. Sua robustez mecânica lhe assegura uma vida útil de 20 a 30 anos sem necessidade de manutenção. Outro tipo, é o medidor eletrônico que faz uso de circuitos integrados.

Região Geográfica	Tipo de Medidor	
	Eletromecânico	Eletrônico
Norte	79,09%	20,91%
Nordeste	88,27%	11,73%
Centro-Oeste	96,11%	3,89%
Sudeste	94,60%	5,40%
Sul	97,38%	2,62%
BRASIL	92,61%	7,39%

Tabela 2.1 – Classificação dos medidores por tipo. (Fonte – ANEEL)

Nas regiões onde os medidores são mais novos, nota-se uma maior quantidade relativa de medidores eletrônicos, como é verificado na Tabela 2.1, o que sugere que o medidor eletrônico está substituindo o convencional nas novas ligações. A partir dos dados enviados pelas concessionárias, conclui-se que, em todo o Brasil, já há mais de 4,8 milhões de medidores eletrônicos adquiridos (em estoque e instalados). Porém, a maioria limita-se às mesmas funcionalidades dos medidores convencionais, ou seja, medem basicamente a energia ativa consumida. (ANEEL)

A concessionária é a maior interessada no perfeito funcionamento desses medidores, mais sua interface com o consumidor é pouco amigável contendo uma fileira de ponteiros e outros números, que deveriam ser passados para o usuário de uma forma de leitura mais fácil, para que possa exercer com mais facilidade seu gerenciamento de carga para um consumo responsável.

2.3 Medidores Monofásicos de Indução Eletromecânicos

O medidor tipo indução tem o funcionamento idêntico ao motor de indução. Este tipo de medidor ainda é hoje o modelo mais utilizado pelas concessionárias na medição de energia elétrica pelo seu custo e durabilidade.

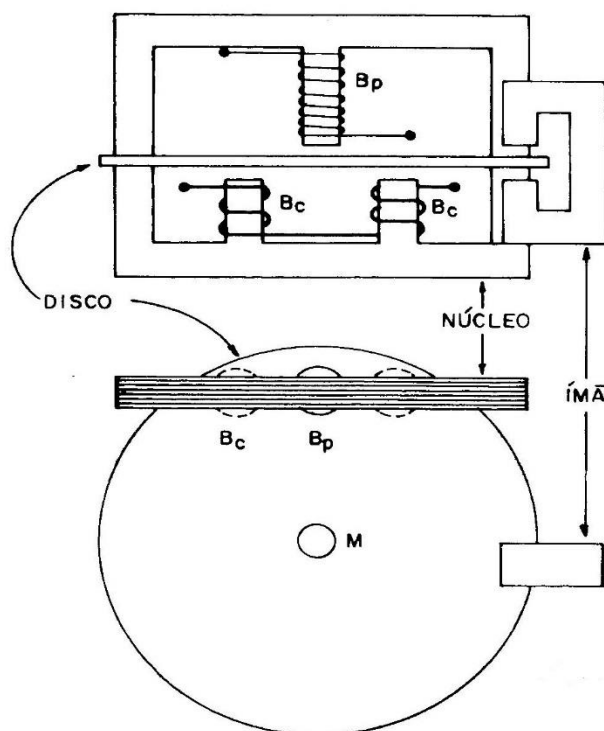


Figura 2.3 – Componentes básicos do medidor tipo indução. (Fonte – CREDER)

A Figura 2.3 ilustra o esquema do medidor de energia elétrica monofásico do tipo ciclométrico.

- Bobina de potencial B_p , com grande número de espiras de fio fino de cobre (alta resistência), fica em paralelo com a carga;
- Bobinas de corrente B_c com poucas espiras de fio grosso (baixa resistência), ficam em série com a carga;
- Núcleo de ferromagnético, justapostas, mas isoladas uma da outras para reduzir as perdas por corrente de Foucault;
- Disco de folha de alumínio de alta condutibilidade e leveza, número de voltas dadas pelo disco é proporcional ao consumo;
- Ímã permanente para produzir conjugado frenador ou de amortecimento sobre o disco.

As bobinas de corrente geram fluxos proporcionais à corrente de energia elétrica. A bobina de potencial gera um fluxo magnético proporcional à tensão do circuito. Estes fluxos irão ocasionar campos magnéticos sobre o disco que provocarão o aparecimento de corrente de Foucault.

Estas correntes em conjunto com os campos magnéticos serão responsáveis pelo surgimento de um torque no disco.

O torque produzido será proporcional à potência ativa da carga. O freio de Foucault (ímã permanente) gera um campo magnético responsável pela frenagem do disco. O torque de frenagem irá proporcionar o equilíbrio dinâmico na rotação do disco, fazendo-o girar a uma velocidade constante.

A potência ativa consumida pela carga será proporcional a velocidade do disco. A Figura 2.4 ilustra uma vista explodida do medidor monofásico e na Tabela 2.2 seus componentes internos.

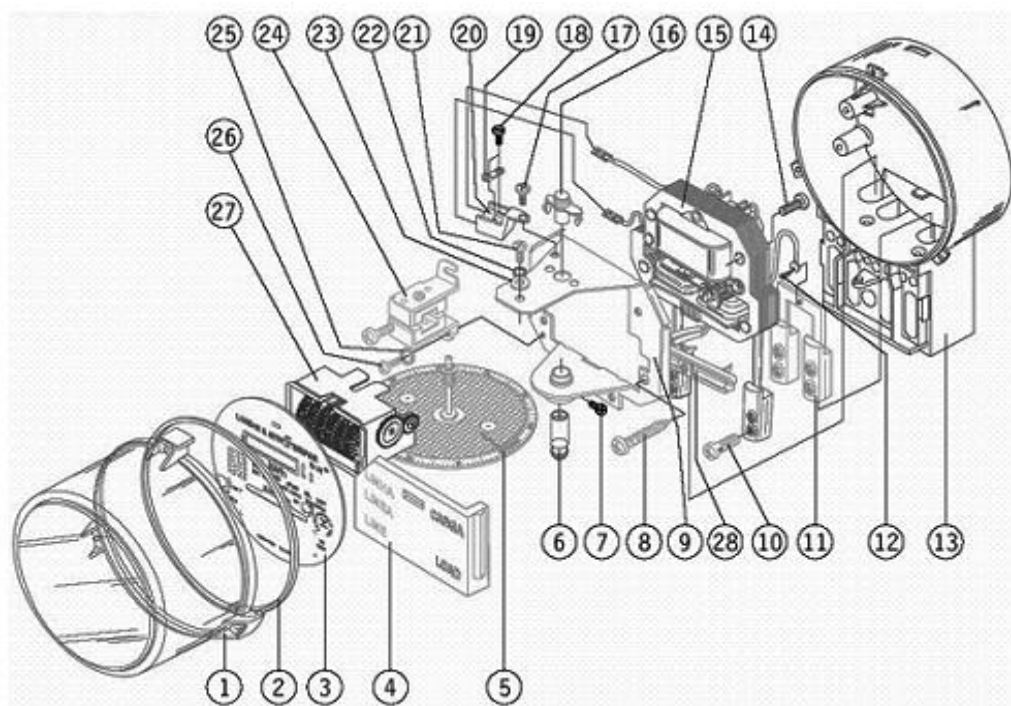


Figura 2.4 – Vista explodida do medidor monofásico M12 da Landis & Gyr. (Fonte - Landis & Gyr)

Tabela 2.2 – Elementos do medidor monofasico M12.(Fonte - Landis&Gyr)

1	Tampa do medidor	11	Terminal ligação de neutro	19	Gancho de prova
2	Gaxeta da tampa do Medidor	12	Parafuso fixação do terminal de potencial-ligação de neutro	20	Suporte prova interna
3	Placa de identificação	13	Base e bloco do medidor	21	Parafuso fixação do registrador
4	Tampa do bloco terminais	14	Parafuso fixação do elemento armadura	22	Arruela pressão
5	Elemento Móvel			23	Arruela lisa
6	Mancal inferior (magnético)	15	Elemento motor	24	Imã frenador
7	Parafuso fixação do mancal inferior	16	Mancal superior (pino guia)	25	Arruela pressão
8	Parafuso fixação do elemento motor	17	Parafuso fixação superior do terminal de prova	26	Parafuso fixação do conjunto imã
9	Armadura	18	Parafuso fixação do gancho de prova	27	Registrador
10	Parafuso terminal de corrente			28	Suporte da indutiva

A leitura nos medidores com ponteiros e números é feita lendo cada relógio que o número que ponteiro está indicando é feita a anotação da direita para esquerda, já no digital o número composto por esses algarismos é o valor da leitura, como apresenta a Figura 2.5.

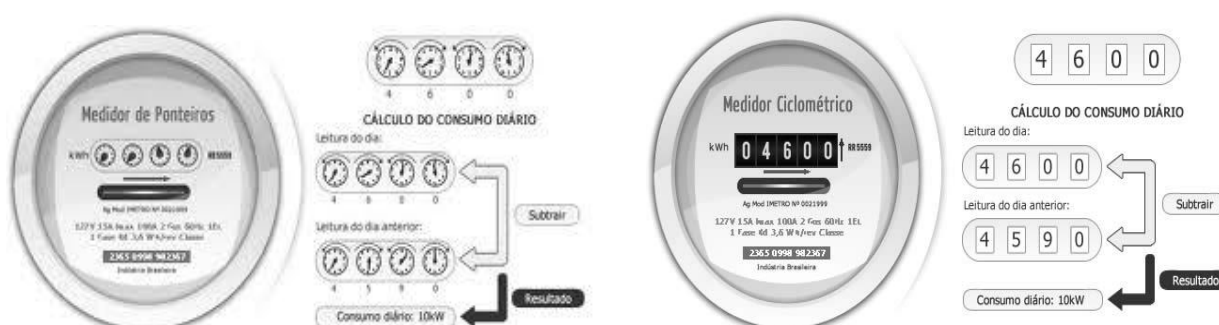


Figura 2.5 – Visão frontal dos medidores respectivamente Ciclométrico e Digital.
(Fonte – COELBA)

Com o custo mais baixo e uma boa durabilidade, ele é o mais usado pelas distribuidoras de energia, mas por sua localização ser externa e a existência de vários tipos de residências como, prédios de apartamentos, casas, sítios e etc., dificulta para o consumidor exercer um bom gerenciamento do seu consumo.

Schwendtner (1996) enfatiza que a utilização dos medidores eletromecânicos do tipo indução já dura aproximadamente 100 anos, havendo necessidade de modernização para integração das tarifas de medição com outras funções associadas, como exemplo: medição

de energia ativa e reativa, medição de importação e exportação, medição de demandas máxima e média, aplicação de diferentes estruturas tarifárias, perfil de consumo, etc., possibilitando maior confiabilidade e redução dos custos de produção, instalação e manutenção.

2.4. Medidor Eletrônico

No início dos anos 80 com avanço tecnológico foi desenvolvido um registrador eletrônico programável, para atender as necessidades das concessionárias a implantarem tarifas diferenciadas para consumidores de médio e grande porte. O equipamento similar ao medidor eletromecânico, tipo indução, não tinha propriedade de medir, apenas contar pulsos recebidos de outros instrumentos e trabalhava junto com o medidor convencional. O medidor eletrônico recebia e acumulava os pulsos, tanto de energia ativa quanto de energia reativa, obedecendo à programação estabelecida pela concessionária e gravava em sua memória.

A evolução veio na década seguinte quando o novo equipamento começou a ter a propriedade de medir a quantidade de energia consumida dispensando o uso de medidores convencionais associados. Com o seu custo alto ficou restrito a alguns casos bastante específicos.

Hoje, com seu custo bem mais acessível, os medidores eletrônicos têm capacidade de processamento, armazenamento e comunicação que vão além de só medir o consumo de energia. Permitem troca de informações em tempo real e de forma bidirecional entre a concessionária e o consumidor final e, ainda o monitoramento de qualidade de energia. Possuem um erro de 1% e o consumidor pode ter acesso a várias informações tais como potência ativa, potência reativa, potência aparente, demanda máxima, fator de potência, tensão, corrente e uso de memória de massa para registro de consumo, com informações de data e hora.

O medidor eletrônico pode ser esquematizado de acordo com o diagrama de blocos que está ilustrado na Figura 2.6.

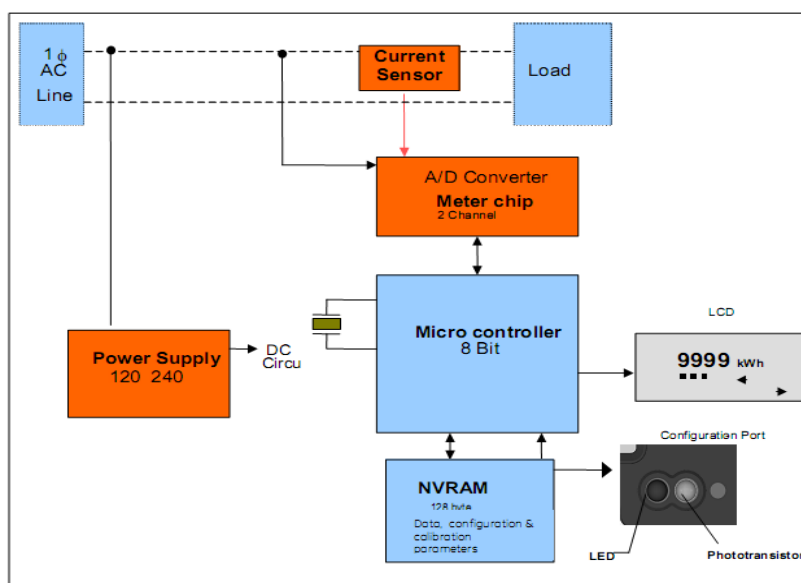


Figura 2.6 – Diagrama de blocos do medidor eletrônico GE I-210.(Fonte – General Eletric)

Conforme o diagrama de blocos, o medidor é dividido nas seguintes partes:

- Dispositivos e sensores.
- Circuito Medidor (*Meter Chip*) – contém dois circuitos conversores analógico – digital um para a corrente e outro para tensão, onde as medidas são feitas em pequenos intervalos de tempo as medidas e guardadas em um registrador.
- Microcontrolador (*Microcontroller*) – Microcontrolador de 8 bits que faz a leitura do registrador do circuito medidor em intervalos de tempo e coloca o resultado no *display* lcd e guarda na memória o consumo e outros parâmetros por data e hora.
- Memória não Volátil (*NVRAM*) – memória não volátil onde e armazenado todo o consumo, parâmetros de calibragem, configurações e parâmetros do programa.
- Fonte (*Power Supply*) – fonte de alimentação de todo o sistema.

A Figura 2.7 ilustra o medidor eletrônico GE I- 210.



Figura 2.7 – Medidor eletrônico de energia ativa e reativa GE I-210.

(Fonte - General Eletric)

2.5. Energia Elétrica

A energia é mais bem descrita pelo o que ela pode fazer. Não podemos “ver” a energia, apenas seus efeitos; não podemos fazê-la, apenas desperdiçá-la (ou seja, usá-la de forma ineficiente). Ao contrário da comida e da moradia, a energia não é valorizada por si própria, mas pelo que pode ser feito com ela. (apud Campos, 2004)

Pode ter várias formas: potencial, mecânica, química, eletromagnética, elétrica, calorífica, etc. Essas várias formas de energia podem ser transformadas umas nas outras. A energia elétrica - ou eletricidade - é como se designam os fenômenos em que estão envolvidas cargas elétricas.

A energia elétrica é baseada na geração de diferença de potencial elétrico entre dois pontos, que permitem estabelecer uma corrente elétrica entre ambos.

A energia elétrica ativa é a energia que consumimos em nossas residências. Ela é medida em (kwh) e somos tarifados pela quantidade que a usamos no período de um mês.

E a energia reativa é medida em quilovolt-ampère-reactivo-hora (Kvarh) apesar de ser necessária para motores, transformadores, reatores de lâmpadas e outros equipamentos com

rolamento, temos que mantê-la sempre em observação, porque o excesso de energia reativa exige condutores de maior secção e transformadores de maior capacidade. E somente a relação com a energia ativa através do Fator de Potência, podemos monitora-la mantendo os níveis sempre entre 1,00 e 0,92.

2.6. Fator de Potência

É um índice que relaciona a energia ativa e reativa de uma instalação elétrica, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética. O fator de potência próximo de 1 indica pouco consumo de energia reativa em relação à energia ativa.

Em conformidade com estabelecido pelo Decreto nº 62724 de 17 de maio de 1968, com a nova redação dada pelo Decreto nº 75887, de 20 junhos de 1975, as concessionárias de energia elétrica adotaram o Fator de Potência 0,85 como referência para limitar o fornecimento de energia reativa.

O Decreto nº 479 de 20 de março de 1992 reiterou a obrigatoriedade de se manter o Fator de Potência o mais perto da unidade (1,00) tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores, recomendando ainda ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, o estabelecimento de um novo limite de referência para o Fator de Potência indutivo e capacitivo, bem como, a forma de avaliação e de critério de faturamento de energia reativa excedente e esse novo limite. (Fonte - ANEEL)

- Aumento do limite mínimo do Fator de Potência de 085 para 0,92.

Potência ativa medida em kw, que efetivamente realiza trabalho, gerando calor, luz, movimento, etc.

$$P = V I \cos \theta \quad (2.1)$$

Onde:

- P é a potência ativa dada em Watts;
- V é a tensão dada em Volts;
- I é a corrente dada em Ampères;
- θ ângulo do Fator d Potência;

Potência reativa medida em kvar, usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas.

$$Q = V I \sin \theta \quad (2.2)$$

A Figura 2.8 ilustra o diagrama de fazores onde observa o ângulo entre a potência reativa e a potência ativa.

Onde:

- Q é a potência reativa dada em Var;
- V é a tensão dada em Volts;
- I é a corrente dada em Ampères;
- θ ângulo do Fator de Potência;

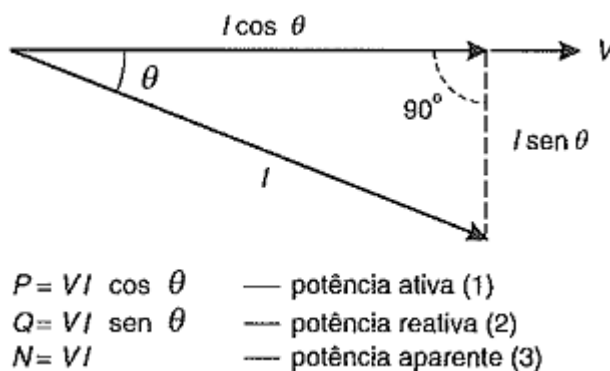


Figura 2.8 – Diagrama de Fazores. (Fonte – CREDER)

A razão entre a potência ativa e a potência aparente de qualquer instalação se constitui no Fator de Potência.

$$FP = \frac{KW}{Kva} = \cos \theta, \text{ arc cos } \frac{(KW)}{(Kva)} \quad (2.3)$$

2.7 Tarifas de Consumo

Os consumidores de energia elétrica pagam por meio da conta recebida da sua empresa distribuidora de energia elétrica, um valor correspondente a quantidade de energia elétrica consumida, no mês anterior, estabelecida em kWh (quilowatt-hora) multiplicada por um valor unitário, denominado tarifa, medida em R\$/kWh (reais por quilowatt-hora), que corresponde ao preço de um quilowatt consumido em uma hora. (Fonte – ANEEL)

As empresas de energia elétrica prestam este serviço por delegação da União na sua área de concessão, ou seja, na área em que lhe foi dada autorização para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica. (Fonte – ANEEL)

Cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estabelecer tarifas que assegurem ao consumidor o pagamento de uma tarifa justa, como também garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessionária de distribuição para que ela possa oferecer um serviço com a qualidade, confiabilidade e continuidade necessárias. (Fonte – ANEEL)

A ANEEL divide os consumidores em dois grandes grupos, Grupo A e Grupo B cada um com suas subdivisões:

XXXVII – Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e
- f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

XXXVIII – grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo B1 – residencial;
- b) Subgrupo B2 – rural;
- c) Subgrupo B3 – demais classes; e
- d) subgrupo B4 – Iluminação Pública. (Fonte - ANEEL]

O grupo que tem destaque para o trabalho em questão é o Grupo B e subgrupo B1 que compreende classe residencial e subclasse residencial baixa renda. Com a gradual instalação

dos novos medidores eletrônicos inteligentes que na Europa e Estados Unidos já são usados largamente, deve entrar em vigor a Tarifa Branca onde o consumidor que tiver um bom gerenciamento de seu consumo poderá vir a ter algum benefício.

Em 22 de novembro de 2011, a ANEEL criou uma nova modalidade tarifária para consumidores conectados na baixa tensão: a tarifa branca. Trata-se de uma tarifa monômnia cuja cobrança baseia-se apenas na quantidade de energia consumida – com três postos tarifários: ponta, intermediário e fora ponta. A nova modalidade é direcionada a todos os consumidores do grupo B, exceto os de baixa renda e iluminação pública. A adesão à tarifa branca é opcional para o consumidor, e sua efetiva aplicação depende ainda da adequação dos medidores e das regras comerciais, ainda não definidas. (Fonte – ANEEL)

A Figura 2.9 ilustra a comparação das tarifas normais com a tarifa branca.

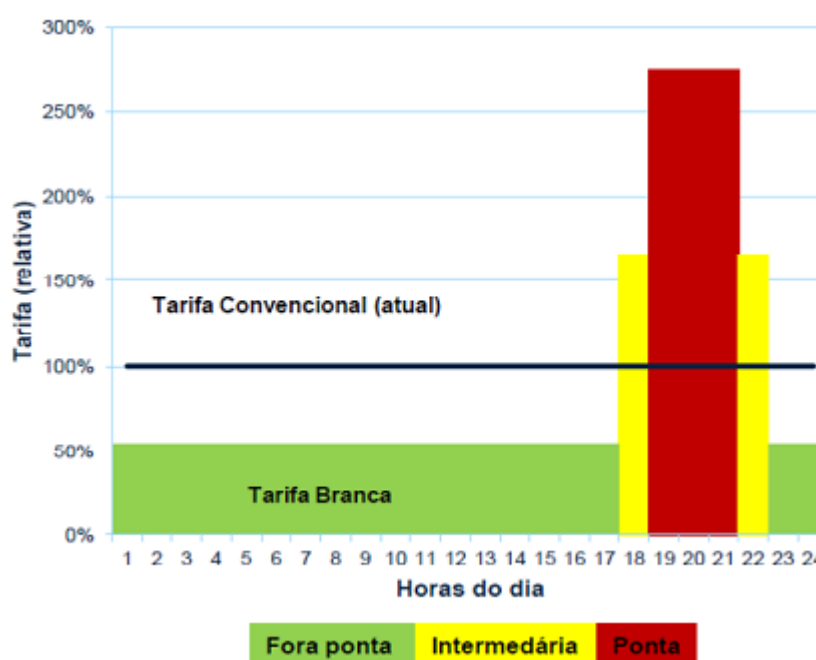


Figura 2.9 – Comparação entre a modalidade tarifária convencional e a tarifa branca. (Fonte – ANEEL)

Modalidade Tarifária opcional, com sinalização horária, aplicada aos consumidores da Baixa Tensão – BT (atendidos em tensão inferior a 2,3 kV).

A data prevista para o início da adesão pelos consumidores é março de 2014.

A sua aplicação depende do resultado desta AP (Audiência Pública), que trata dos aspectos comerciais da Tarifa Branca, e da certificação de medidores eletrônicos pelo Inmetro. (Fonte - ANEEL)

Capítulo 3. Desenvolvimento

Neste capítulo é feita uma descrição de todo material usado no projeto vislumbrando suas características técnicas. O protótipo visa automatizar a leitura do medidor de energia elétrica passando para o consumidor uma leitura completa de consumo instantâneo e acumulado, disponibilizando o valor em reais.

3.1. Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica criado com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos. Além disso, todo material (software, bibliotecas, hardware) é *open-source*, ou seja, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de direitos autorais. Sua plataforma é composta essencialmente de duas partes: o Hardware e o Software. A Figura 3.1 ilustra arquitetura da placa Arduino.

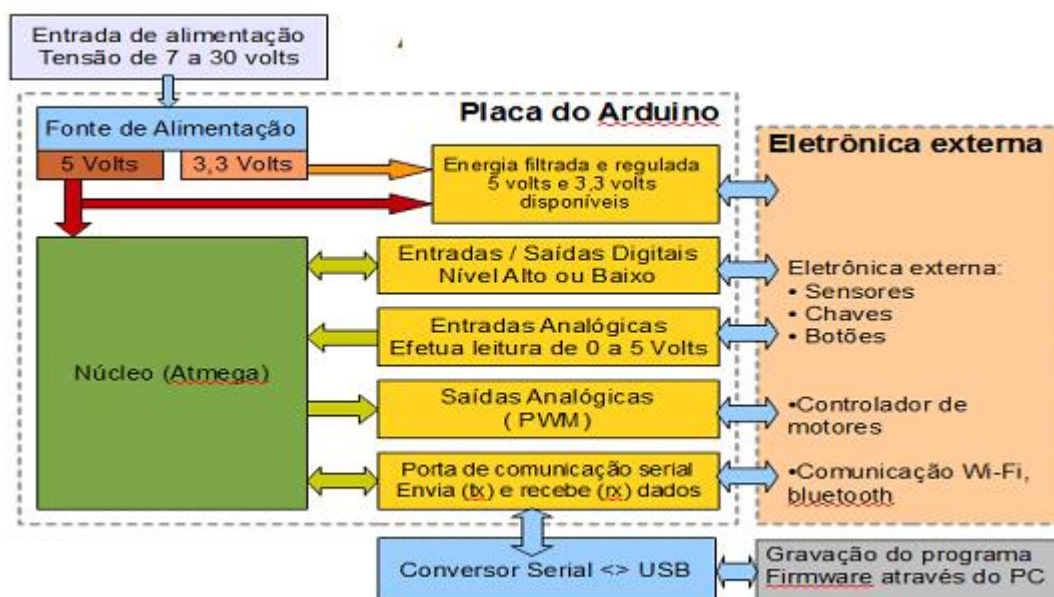


Figura 3.1 – Arquitetura Arduino. (Fonte -)

O hardware do Arduino é muito simples, porém muito eficiente. Vamos analisar a partir deste momento, o hardware do Arduino UNO. Esse hardware é composto dos seguintes blocos. Como ilustra a Figura 3.2.



Figura 3.2 – Divisão de blocos do Arduino. (Fonte -)

3.1.1. Fonte de Alimentação

Responsável por receber a energia de alimentação externa, que pode ter uma tensão de no mínimo 7 Volts e no máximo 16 Volts e uma corrente mínima de 300 mA. A fonte filtra e depois regula a tensão de entrada para duas saídas: 5 Volts e 3,3 Volts. O requisito deste bloco é entregar as tensões de 5 e 3,3 Volts para que a CPU e os demais circuitos funcionem.

3.1.2. Núcleo CPU

O núcleo de processamento de uma placa Arduino é um micro controlador, uma CPU, um computador completo, com memória RAM, memória de programa (ROM), uma unidade de processamento de aritmética e os dispositivos de entrada e saída. Tudo em um chip só. E

é esse chip que possui todo hardware para obter dados externos, processar esses dados e devolver para o mundo externo.

A linha utilizada é a ATMega e os mais comuns são as placas com os chips ATMega8, ATMega162 e ATMega328p.

3.1.3. Entradas e Sairas

O *chip* ATMEGA 328 ilustrado na figura 3.3, possui 28 pinos de conexões elétricas, 14 de cada lado. E através desses pinos, podemos acessar as funções do microcontrolador, enviando dados para sua memória e acionando dispositivos externos.



Figura 3.3 – Chip ATMEGA 328. (Fonte -)

No Arduino os pinos são divididos da seguinte forma:

- 14 pinos digitais de entrada ou saída (programáveis)
- 6 pinos de entrada analógica ou entrada/saída digital (programáveis)
- 5 pinos de alimentação (gnd, 5V, ref analógica)
- 1 pino de *reset*
- 2 pinos para conectar o cristal oscilador

Com os 14 pinos digitais e os 6 pinos analógicos que o Arduino pode ser conectado a eletrônica externa. Dentre os pinos digitais existem dois que correspondem ao módulo de comunicação serial USART que permite comunicação com o computador.

3.1.4. Entradas Digitais

No total têm-se disponíveis 20 pinos que podem ser utilizados como entradas digitais, os 14 pinos digitais mais os 6 pinos analógicos podem ser programados para serem entradas digitais.

3.1.5 Entradas Analógicas

As saídas digitais podem ser usadas para uma variedade grande de acionamentos como ligar um rele, acender um led, liberar voltagem 0v e 5v acionar motores uma infinidades de emprego. Podem chegar a 20 portas digitais configurando as portas analógicas para se comportar como digitais.

Pinos com Funções Especiais

- PWM – Pino gera sinal (0 e 1) onde o tempo que fica em nível 1 (ligado) pode ser controlado podendo assim controlar velocidades de motores ou gerar tensões com valores controlados. Pinos 3,5,6,9,10 e 11.
- Porta Serial USART – É usado um pino para transmitir e o outro para receber dados no formato serial assíncrono (USART). Podendo ser acessado remotamente por conexão *bluetooth*. Pinos 0 (rx recebe dados) e pino 1 (tx envia dados).
- Comparador Analógico – Pode ser usado para comparar tensões sem precisar de programação. Pinos 6 e 7.
- Interrupção Externa – Pode ser conectado a um botão para desviar o programa para outro bloco. Pinos 2 e 3
- Porta SPI – Comunicação serial síncrono tem uma rapidez maior que a USART e muito usada para utilização de cartões de memória SD e outros dispositivos. Pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) e 13 (SCK).

3.1.6. Área de Desenvolvimento e Estrutura da Linguagem

A linguagem de programação Arduino é uma implementação do *Wiring* (subconjunto de C++), que é baseada no ambiente de programação *Processing*.

Tendo uma biblioteca chamada *Wiring*, ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isto permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional:

- `setup ()` – A função *setup* serve para inicialização da placa e do programa. Esta sessão é executada uma vez quando a placa é ligada ou reconfigurada através do botão;
- `loop ()` – A função *loop* é como se fosse a *main ()* da placa. O programa escrito dentro da função *loop* é executado indefinidamente, ou seja, ao terminar a execução da última linha desta função, o programa inicia novamente a partir da primeira linha da função *loop* e continua a executar até que a placa seja desligada ou o botão de reset seja pressionado.

Para começar a programação do microcontrolador é preciso a instalação de um software que é disponibilizado de graça, e depois procede a instalação da IDE (Integrated Development Environment) que é o ambiente de desenvolvimento do programa como ilustra a figura 3.4:

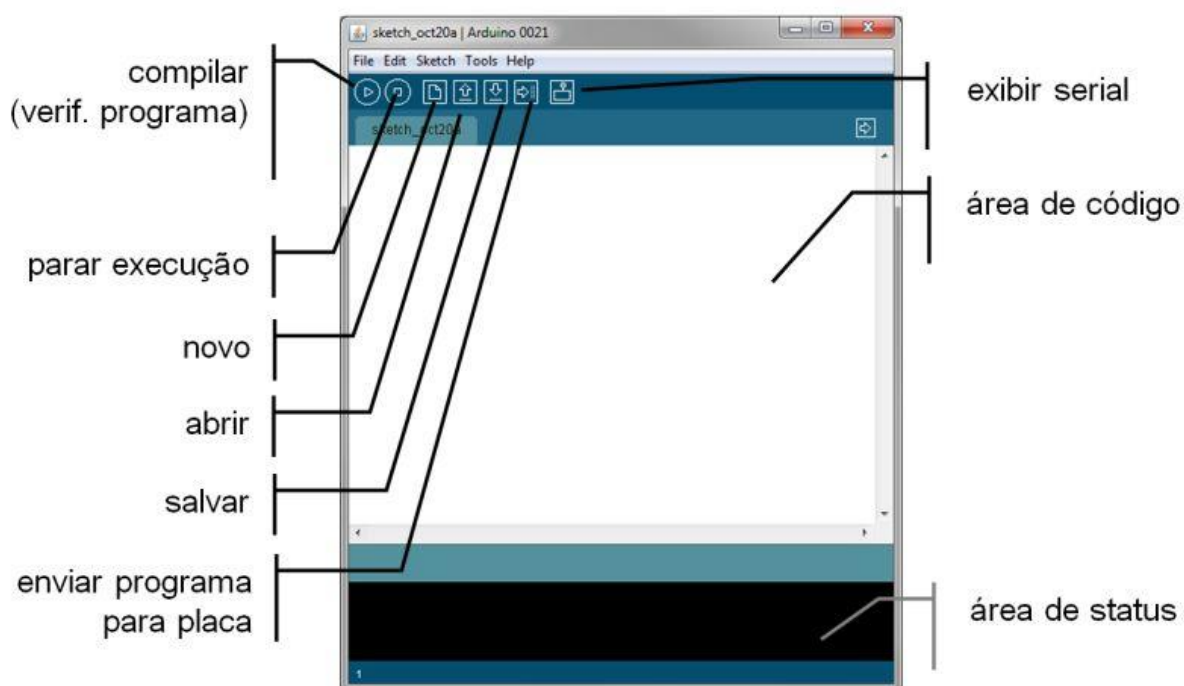


Figura 3.4 – IDE Arduino. (Fonte – Curso Arduino)

3.2 Sensor de Corrente SCT - 013 - 000

Os sensores SCT – 013 que ilustra a Figura 3.5 são sensores conhecidos como transformadores de corrente que são usados para medição de corrente alternada AC. Eles são especialmente muito úteis para medir o consumo de energia. Esses sensores tem seu núcleo

divididos sendo os mais indicados para uso em sistema em funcionamento os de alta tensão, sem precisar ser feita nenhuma intervenção técnica com fios desencapados ou expostos são sensores chamados não invasivos. A Figura 3.6 ilustra as características técnicas do sensor.

Seu funcionamento é feito por indução e tem em sua base um transformador com um enrolamento no primário e um enrolamento no secundário. No secundário compreende muitas voltas de fio fino e no primário enrolamento de poucas voltas de fio grosso. A corrente que flui pelo primário produz um campo magnético no núcleo, o que induz uma corrente no secundário.

A indução magnética de um campo em um ponto qualquer é medida pela capacidade de induzir Força Eletromotriz (f.e.m.) em um condutor que se desloque no campo magnético. Se o condutor tem 1 metro de comprimento, a velocidade de deslocamento de 1 metro por segundo e a f.e.m. induzida de 1 volt, a indução magnética é de um weber por metro quadrado (CREDER, 2008)



Figura 3.5 – Sensor YHDC SCT – 013. (Fonte – YHDC)

Modelo	SCT-013-000
Tamanho da abertura	13mm×13mm
Corrente de entrada	0-100A
Rácio de voltas	100A-0.05A
Tensão de saída	0-50mV
Não-linearidade	±3%

N° voltas: 2000 $I_{RMS} = 100A$

Figura 3.6 – Características técnicas. (Fonte – YHDC)

3.3 Protocolo ZigBee

O protocolo de rede ZigBee foi criado pela ZigBee Alliance em conjunto com a IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), foi projetado para permitir comunicação sem fio confiável, com baixo consumo de energia e baixas taxas de transmissão para utilização de monitoramento e controle. O ZigBee utiliza a definição 802.15.4 do IEEE, que opera em bandas de frequência livres.

As características ressaltadas pelo protocolo são

- Diferentes frequências de operações e taxas de dados 868 MHz e 20 Kbps; 915 MHz e 40 Kbps; 2.4 GHz e 250 Kbps;
- Um mesmo pode executar diferentes papéis na rede;
- Possível configuração em diversas topologias de rede;
- Habilidade de se auto-organizar e de auto reestruturar;
- Permite um número elevado de dispositivos conectado a rede (máximo de 65.535 dispositivos por rede)
- Alta durabilidade de bateria dos dispositivos;
- Interoperabilidade, ou seja, capacidade de comunicar de forma transparente com outros sistemas;

A Figura 3.7 ilustra o posicionamento do protocolo ZigBee no mercado de tecnologia sem fio:

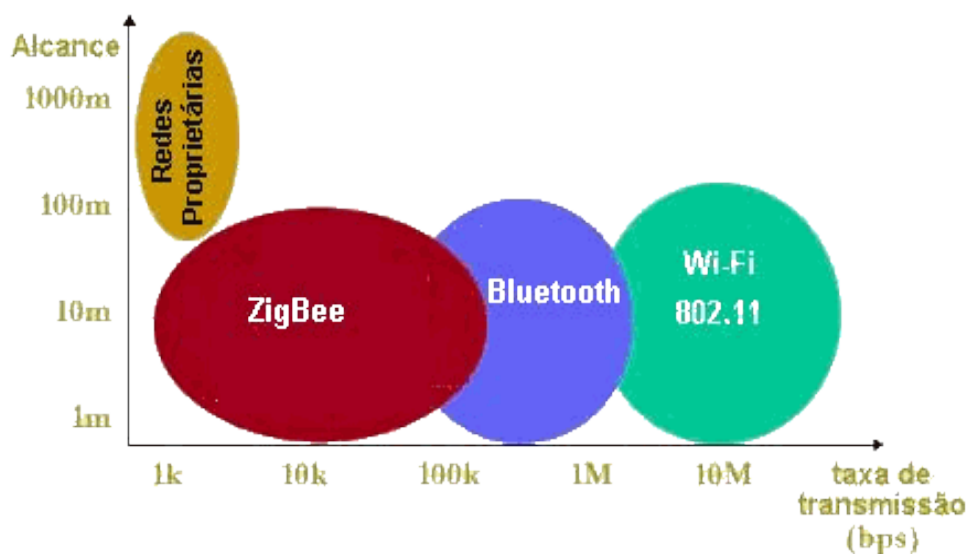


Figura 3.7 – Posicionamento das tecnologias sem fio. (Fonte – www.rogercom.com.br)

A rede ZigBee é largamente usada em diversos tipos de aplicação como:

- Automação e Controle Predial (Segurança, Controle de Acesso e Iluminação);
- Controle Industrial (gerenciamento de ativos, controle de processos, etc.);
- Periféricos para PC (Teclado, mouse e joystick);
- Controle remoto de produtos eletrônicos;
- Automação residencial e comercial;
- Saúde Pessoal (Monitoração de pacientes, Acompanhamento de Exercício Físico).

O protocolo define uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de redes *ad hoc*, as características de conexão em malha e *multi-hop*. As topologias que podemos encontrar em uma rede Zigbee são a topologia em estrela (*star*), em árvore (*tree*) e em malha (*mesh*). Os principais componentes integrantes dessa rede são o coordenador (*coordinator*), os roteadores (*routers*), e os clientes.

Coordenador (C): É responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção, reconhecimento dos nós, entre outras funções.

Roteador (R): É um nó normal da rede, aumenta o alcance da rede zigbee, através do re-encaminhamento das mensagens para os nós adjacentes, aumentando o alcance da rede. Qualquer dispositivo na rede Zigbee pode atuar como roteador, além de suas outras funções.

Dispositivo final (DF): É o local no qual são instalados os sensores ou atuadores. Logo é o nó que consome menos energia, pois na maioria do tempo está em estado de dormência.

A Figura 3.8 ilustra as diferentes topologias que a rede ZigBee pode atuar como: estrela, *cluster tree* e *mesh*.

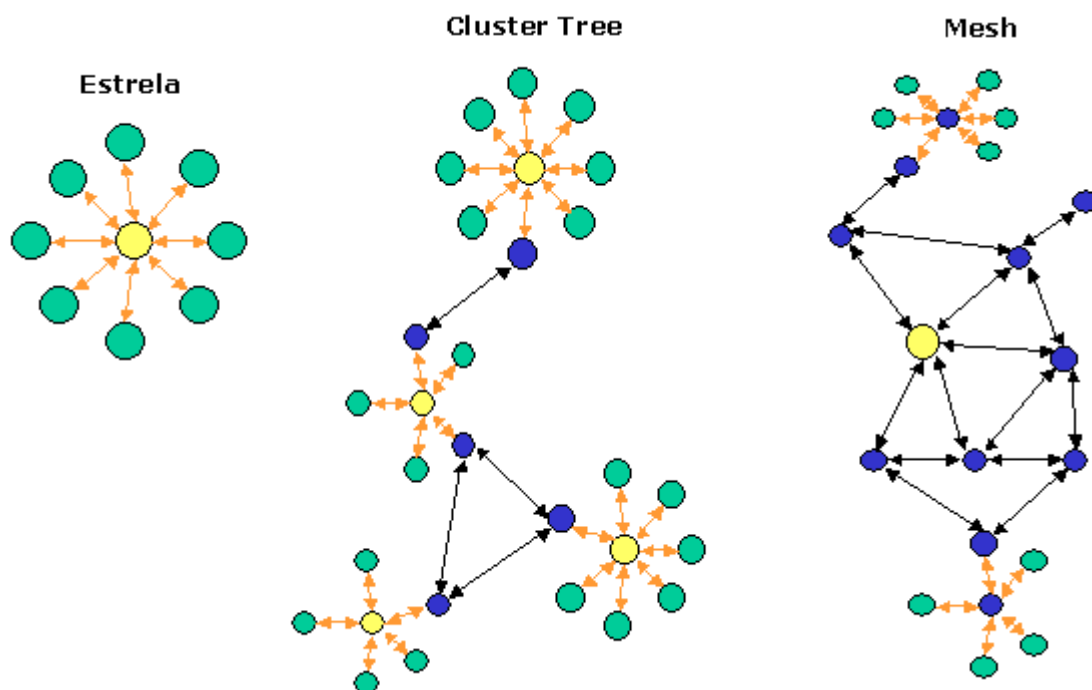


Figura 3.8 – Topologias ZigBee. (Fonte - ROGERCOM)

3.3.1 Manutenção da Rede Elétrica

É com a tecnologia ZigBee que ocorrerá uma mudança radical na maneira com que é feita a manutenção do sistema elétrico urbano e também como é feita a leitura mensal dos consumidores.

Usando as redes ZigBee o técnico das concessionárias não precisará mais subir no poste de luz sem saber o problema, agora poderá se comunicar com uma central instalada no poste distribuidor da área e fará uma averiguação geral do sistema da área e assim avaliar que serviço terá que ser feito. Também ocorrerá uma mudança na maneira de se fazer a leitura mensal do consumidor, agora podendo ser feita à distância pela rede sem precisar contato visual.

Através de um PDA, como ilustra a Figura 3.9, ou algum outro dispositivo de avaliação, com hardware Zigbee instalado, o técnico efetuará a sincronização com a rede, e fará os testes necessários para descobrir a anormalidade e a medição do consumo.

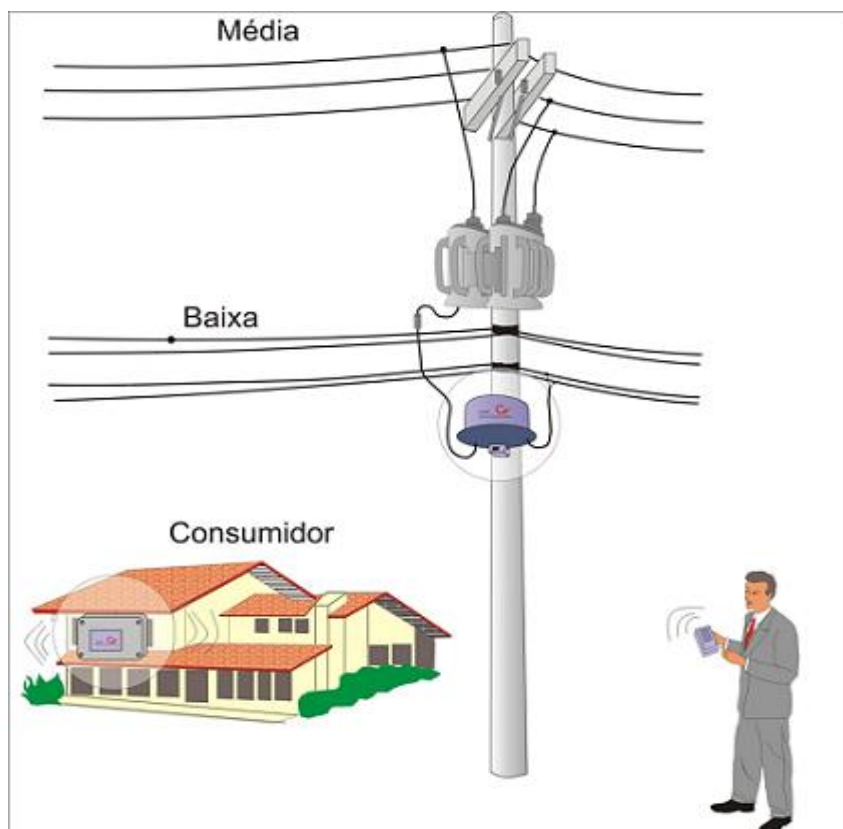


Figura 3.9 – Sistema elétrico com central ZigBee. (Fonte – www.rogercom.com.br)

3.4 Modulo de Comunicação XBee

Os módulos XBee foram projetados para atender os padrões IEEE 802.15.4 e apoiar as necessidades únicas de baixo custo, baixo consumo de energia de rede de sensores sem fio. Os módulos exigem o mínimo de energia, pois quando não estão em funcionamento ficam no estado *sleep* (dormindo) e proporcionam uma entrega confiável de dados entre os dispositivos.

O kit usado para fazer a comunicação sem fio para o computador a uma distância de no máximo 150 metros de visada direta, contém os seguintes componentes relacionados abaixo:

- 1 x shield XBee (interface de conexão do XBee e Arduino) Figura 3.10;
- 1 x XBee Explorer (interface de conexão XBee para configuração) Figura 3.11;
- 2 x módulos XBee;
- 2 x conectores de 6 pinos empilháveis;
- 2 x conectores de 8 pinos empilháveis;

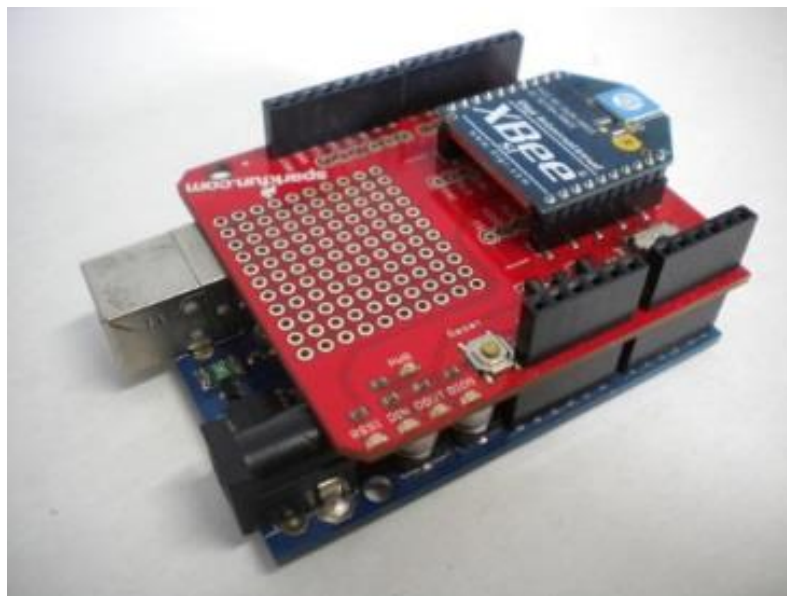


Figura 3.10 - Montagem: XBee + XBee Shield + Arduino. (Fonte - Autor)

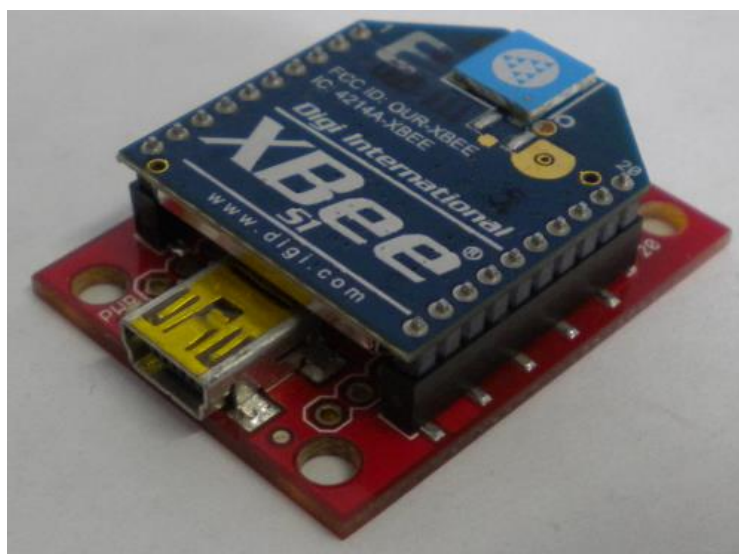


Figura 3.11 - Montagem: XBee + XBee Explorer.(Fonte - Autor)

Cada módulo possui 20 pinos que exercem diferentes funções, que estão descritas na Tabela 3.1. Como podemos ver, há pinos que podem exercer funções como entrada analógica, entrada/saída digital, controle de fluxo e PWM. A maneira mais fácil para configurar a função de um determinado pino do módulo ou mesmo outros parâmetros, é através do programa X-CTU, programa disponibilizado gratuitamente pelo fabricante.

Tabela 3.1-Descrição dos pinos dos módulos XBee/XBee-Pro (Fonte – ROGERCOM)

Pino #	Nome	Direção	Descrição
1	VCC	-	Alimentação 3,3v
2	DOUT	Saída	Saída de dados da UART
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Entrada	Entrada de dados da UART
4	DO8*	Saída	Saída digital 8
5	$\overline{\text{RESET}}$	Entrada	Inicializa módulo (um pulso nível 0 de pelo menos 200ms)
6	PWM0 / RSSI	Saída	Saída do PWM 0 / Indicador de Força do sinal de RF (RX)
7	PWM1	Saída	Saída do PWM 1
8	(Reservado)	-	Ainda não tem uma função definida (futura implementação)
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_IRQ / DI8	Entrada	Linha de Controle da Função Sleep ou Entrada digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD4 / DIO4	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 4 ou Entrada/Saída Digital 4
12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Entrada/Saída	Controle de Fluxo CTS ou Entrada/Saída Digital 7
13	ON / SLEEP	Saída	Indicador de Estado do Módulo
14	VREF	Entrada	Voltagem de Referência para as Entradas A/D
15	Associação / AD5 / DIO5	Entrada/Saída	Indicador de Associação, só Entrada Analógica 5 ou Entrada/Saída Digital 5
16	$\overline{\text{RTS}}$ / AD6 / DIO6	Entrada/Saída	Controle de Fluxo RTS, só Entrada Analógica 6 ou Entrada/Saída Digital 6
17	AD3 / DIO3	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 3 ou Entrada/Saída Digital 3
18	AD2 / DIO2	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 2 ou Entrada/Saída Digital 2
19	AD1 / DIO1	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 1 ou Entrada/Saída Digital 1
20	AD0 / DIO0	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 0 ou Entrada/Saída Digital 0

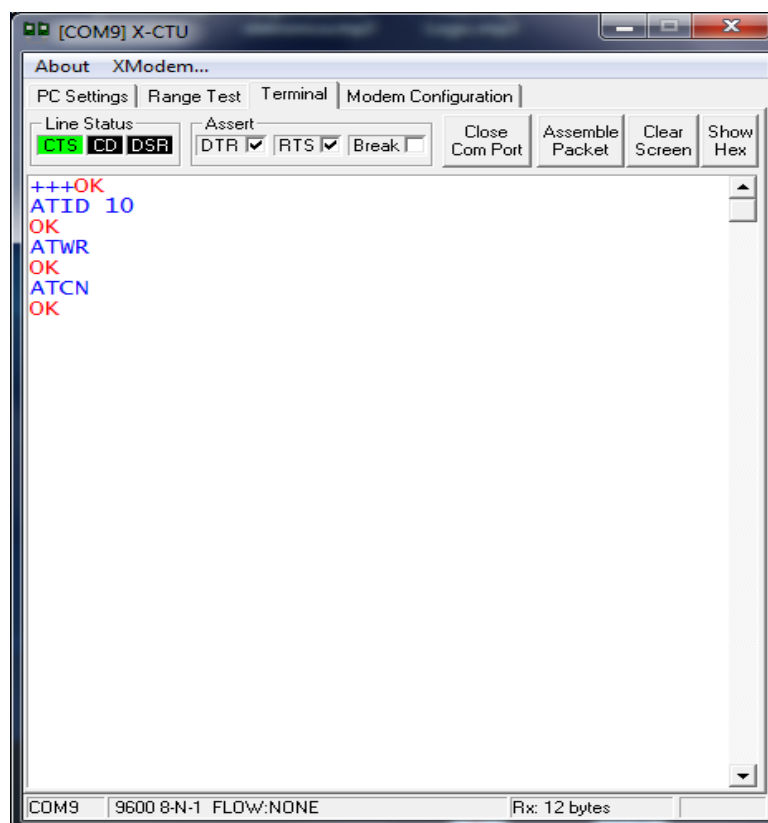


Figura 3.12 – Ambiente de programação XBee X-CTU. (Fonte - DIGI)

Os módulos XBee/XBee Pro operam em dois modos diferentes, são eles:

Modo Transparente

Os dados recebidos da UART pelo pino DI(RX) são colocados na fila para transmissão via RF. Já os dados recebidos do canal de RF, são transmitidos através do pino DO(TX). No modo transparente, os dados são transmitidos e recebidos da mesma forma que uma comunicação Serial RS232 padrão. Os módulos dispõem de buffers de transmissão e recepção para um melhor desempenho na comunicação serial. A Figura 3.13 ilustra o frame padrão da comunicação RS232.

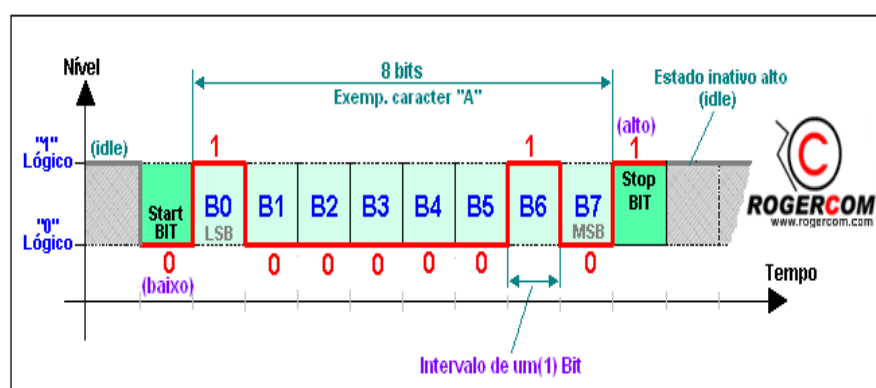


Figura 3.13 - Frame de dado padrão RS232 (8-N-1).(Fonte - ROGERCOM)

Modo API (Application Programming Interface)

Esse modo de operação é uma alternativa ao modo de operação Transparente padrão. O modo API é baseado em frame e assim estende o nível para o qual uma aplicação de *Host* pode interagir com as capacidades de rede do módulo.

No modo API os dados transmitidos e recebidos estão contidos em frames, que definem operações ou eventos dentro do módulo. Através desse modo de operação é possível um determinado módulo enviar endereço fonte, endereço destino, nome de um determinado nó, sinal RSSI, estado, e muito mais. A Figura 3.14 ilustra a estrutura de frame do modo de comunicação API.

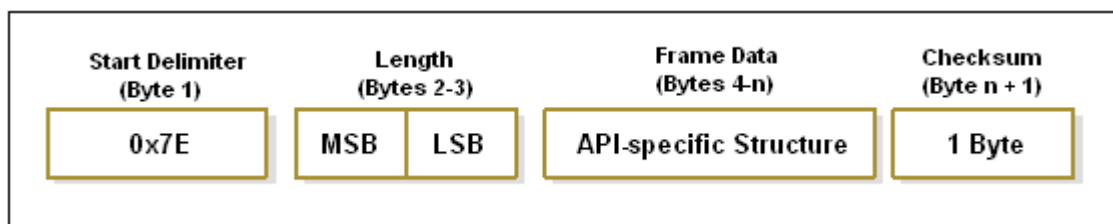


Figura 3.14 - Estrutura do Frame de dados no modo API. (Fonte - ROGERCOM)

3.5 Display de Cristal Liquido

Os módulos LCD são interfaces periféricas de saída muito útil em sistemas microcontrolados e processados. Existem vários tipos de Display LCD, sendo os mais comuns são do tipo de caracteres e são especificados em números de linhas por colunas sendo encontrados em diversas configurações como ilustra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Módulos LCD Disponíveis.(Fonte – QinGen Eletronic)

Número de Colunas	Número de Linhas	Quantidade de pinos
8	2	14
12	2	14/15
16	1	14/16
16	2	14/16
16	4	14/16
20	1	14/16
20	2	14/16
20	4	14/16
24	2	14/16
24	4	14/16
40	2	16
40	4	16

O que está sendo usado no projeto é o Display LCD 20 x 4 com LED *backlight* (iluminação de fundo) para facilitar a leitura durante a noite. O acionamento deste LED é feita pelos pinos 15 e 16 para módulos comuns e sua alimentação varia de 100 a 200 mA.

Os módulos utilizam um controlador próprio, permitindo sua interligação com outras placas através de seu barramento de pinos, onde é feita sua alimentação, comunicação de dados e controle do módulo com a placa. O controle de envio de bytes de instruções e bytes de dados é gerenciados por um protocolo de comunicação.

Na Tabela 3.3 é feita uma descrição dos pinos do módulo para sua conexão com a placa Arduino e na Figura 3.15 ilustra o display lcd usado no projeto.

Tabela 3.3 - Descrição dos pinos de comunicação do LCD. (Fonte - QinGen Eletronic)

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra ou GND
2	Alimentação	VCC ou +5V
3	V0	Tensão para ajuste de contraste
4	RS Seleção:	1 - Dado, 0 - Instrução
5	R/W Seleção:	1 - Leitura, 0 - Escrita
6	E Chip select	1 ou (1 → 0) - Habilita, 0 - Desabilitado
7	B0 LSB	Barramento de Dados
8	B1	
9	B2	
10	B3	
11	B4	
12	B5	
13	B6	
14	B7 MSB	
15	A (qdo existir)	Anodo p/ <i>LED backlight</i>
16	K (qdo existir)	Catodo p/ <i>LED backlight</i>



Figura 3.15- Display QinGen QC2004A. (Fonte – QinGen Eletronic)

Capítulo 4. Modelo Proposto

O modelo que será apresentado nesse capítulo propõe um monitoramento do consumo feito pelo medidor eletromecânico instalado nas residências monofásicas, onde será usado um sensor de corrente não invasivo, para ler a corrente que juntamente com os dados da voltagem, o microprocessador ARTEmega 328 baseado na placa Arduino fará os cálculos retornando para um display de lcd no local e para um *notebook* localizado a uma distância de no máximo 30 m os kwh acumulados e consumidos instantaneamente junto com o valor em reais do consumo acumulado enquanto o módulo estiver em funcionamento.

4.1 - Apresentações do Protótipo e seus Componentes

Nesta fase é feita a descrição minuciosa do modelo proposto com todas as fases de montagem, especificando e descrevendo todos os problemas encontrados e como serão contornados. O modelo será montado em um pedaço retangular de compensado medindo 45X30 cm. Foi escolhido esse tamanho para expor bem claramente todos os componentes.

A Figura 4.1 ilustra a topologia de atuação do medidor monofásico de consumo de energia.

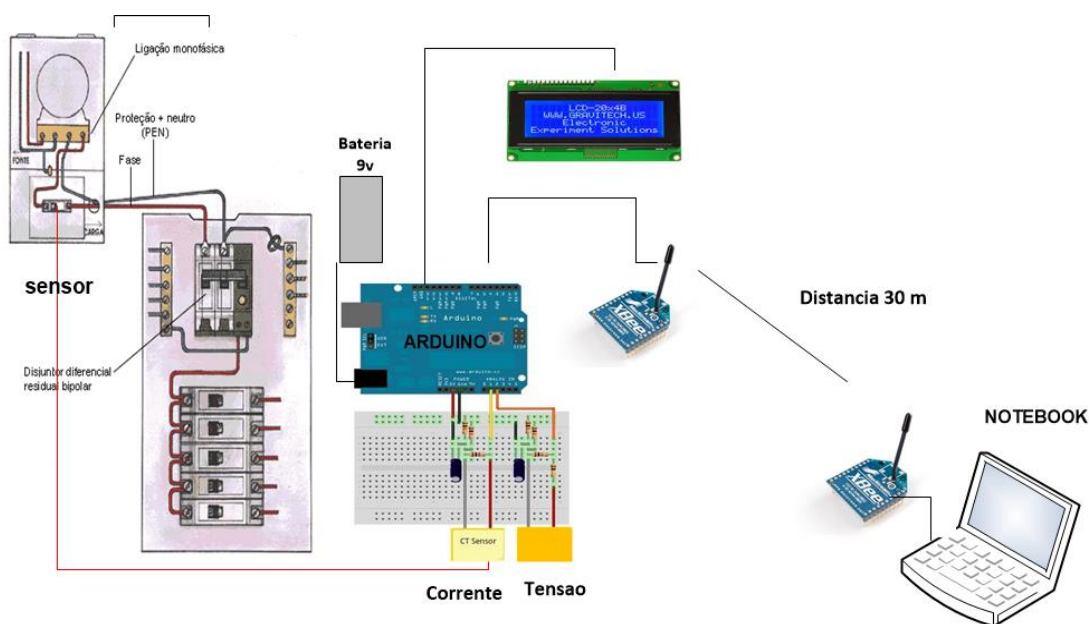


Figura 4.1 - Topologia do Modelo. (Fonte:Autor)

Segue abaixo todos os componentes que constitui o protótipo que fará a medição de energia de uma residência monofásica:

1. 1 Base de compensado de 45x30 cm,
2. 1 Microcontrolador Arduino Uno,
3. 2 Módulos XBee S1,
4. 1 *Shield* de XBee para arduino,
5. 1 *Explorer* XBee Serial para USB,
6. 1 Bateria de 9v,
7. 1 *Display* Lcd 20x4,
8. 1 Sensor de corrente não invasivo Yhdc SCT – 013 – 000,
9. 2 Protoboards,
10. 1 Transformador AC/AC 220/9V,
11. 1 Filtro de linha de 5 tomadas,
12. 1 Sensor de tensão,
13. 1 Calibração para o sensor de corrente,

4.2 - SENSORE DE TENSÃO

O microcontrolador Arduino não consegue obter os dados com a tensão normal, e suas portas analógicas não aguentam, assim precisamos trata-la mais sem tirar suas variações, e temos uma equivalência proporcional. Esse condicionamento é feito usando um transformador de corrente alternada 220V/9V, conectado a um circuito divisor de tensão que reduzirá a tensão para níveis que atenda os requisitos de entrada analógica do Arduino, uma tensão positiva entre 0V a uma tensão de referencia de 5V.

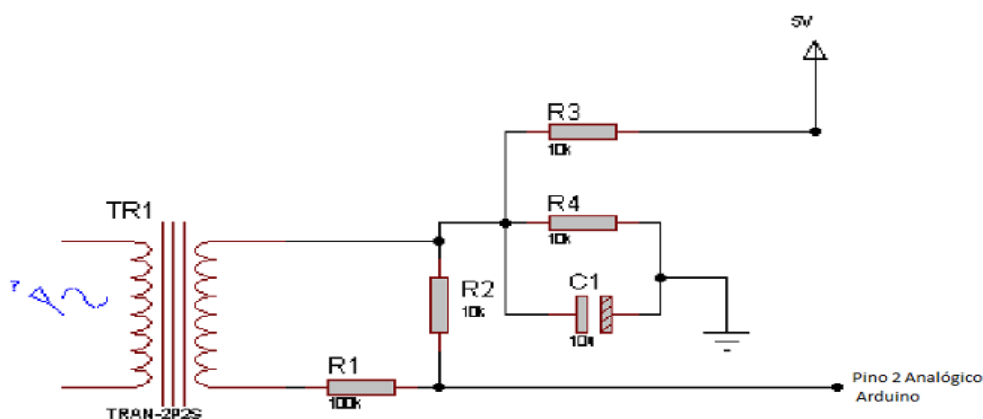


Figura 4.2 – Diagrama elétrico do sensor de tensão

4.3 Calibragem do Sensor de Corrente

Na pesquisa para colher o dado da corrente foi escolhido um sensor não invasivo Yhdc SCT – 013 – 000 por ter uma não linearidade pequena de 3% e para a proposta de um monitor residencial de energia, o referido sensor não precisar estar ligado fisicamente a um fio de alta tensão ele trabalha por indução, sendo seu núcleo dividido em dois e a fase é colocada em seu interior, consegue medir tensões de 0 a 100 A. e os dados passados são de 0 a 50 mA. . Para o Arduino temos que transformar essa variação em dados que as portas analógicas consigam ler que é de 0 V. a 5 V. para isso é feito uma placa de equivalência para que a variação seja proporcional a variação da corrente. Para que o sinal não ultrapasse o pico do divisor de tensão é calculado um resistor que seja o limitador para que o Arduino não retorne valores negativos. Para isso temos que fazer os seguintes cálculos:

Calcular o pico de corrente no primário:

$$\text{Pico no primário} = 100 (\text{corrente rms}) \times \sqrt{2} = 141,4$$

$$\text{Pico no secundário} = 141,4 / 2000 (\text{nº de voltas}) = 0,0707 \text{ A}$$

$$\text{Resistência ideal} = (5 (\text{pico arduino}) / 2) / 0,0707 = 35,4 \Omega$$

Como não é comum esse valor é recomendado 33 Ω 1%.

A Figura 4.3 ilustra o divisor de tensão criado para a variação da corrente e da tensão ser reconhecida pelo Arduino para valores positivos.

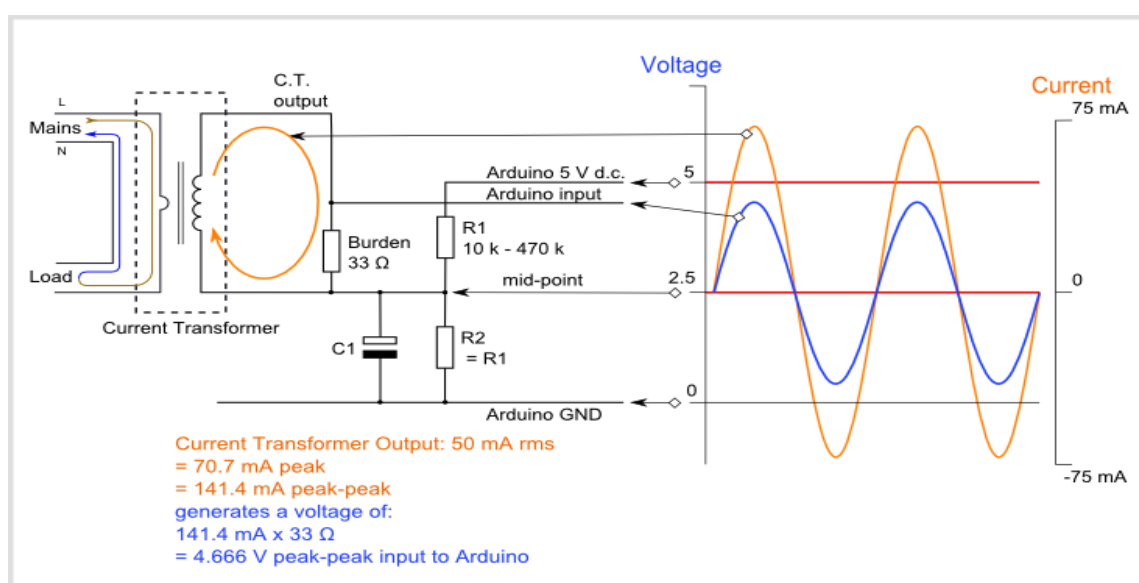


Figura 4.3 – Divisor de tensão com limitador de carga. (Fonte – OpenEnergyMonitor)

4.4 Configuração dos Módulos XBees

Os módulos de comunicação XBees que se comunicam pela rede ZigBee podem ser configurados de três modos: coordenador, roteador e dispositivo final. O coordenador é o responsável por receber todos os dados disponíveis na rede, os roteadores são os dispositivos que providenciam os acessos para que toda a rede se comunique e os dispositivos finais que geralmente colhem os dados dos sensores.

Como o espaço que o projeto demanda não chega a ser maior que a área que o dispositivo alcança, só vai ser usado um módulo coordenador e outro módulo dispositivo final com a mesma rede como mostra Figura 4.3, como coordenador e a Figura 4.4, como dispositivo final e na Figura 4.6 os módulos montados em suas interfaces de comunicação para o Arduino e para porta USB do computador.

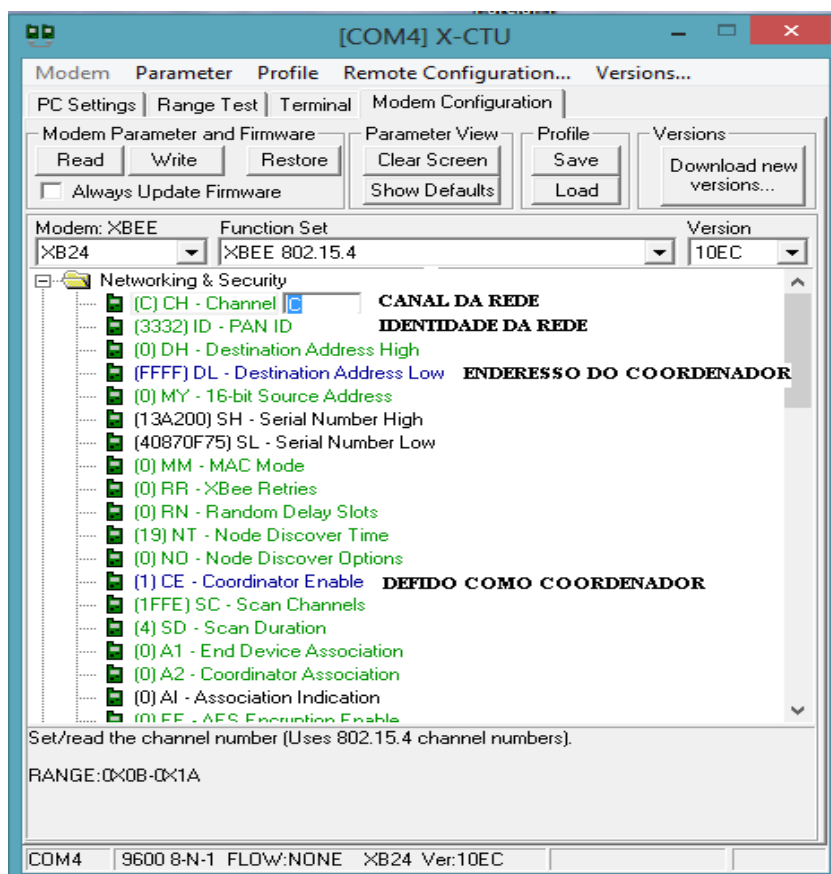


Figura 4.4 – Configuração do coordenador. (Fonte - Autor)

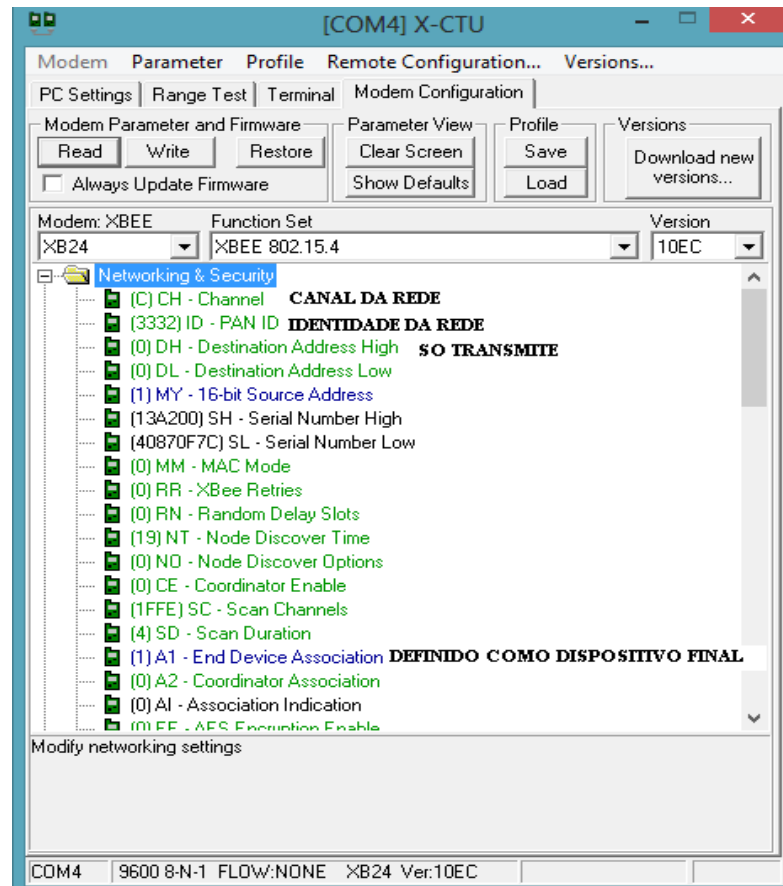


Figura 4.5 – Configuração do dispositivo final. (Fonte - Autor)

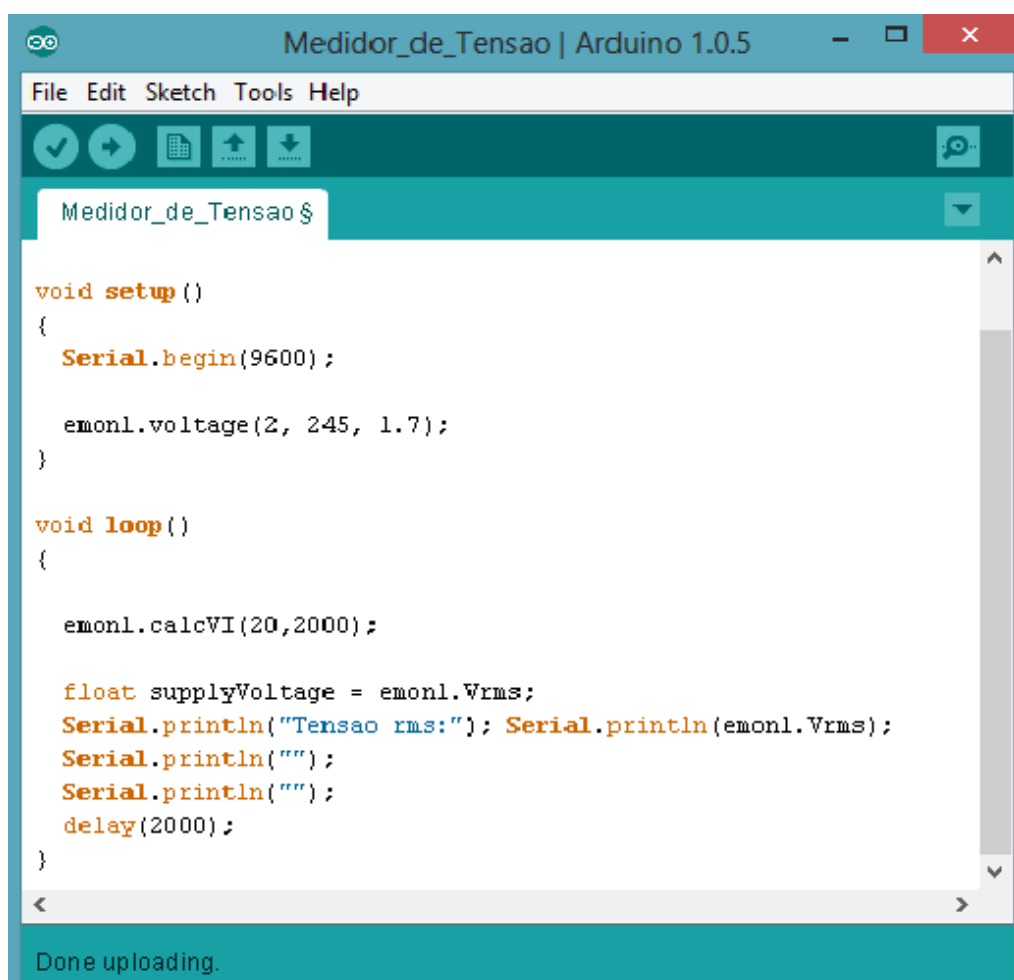


Figura 4.6 – Módulos comunicadores XBee. (Fonte Autor)

4.5 Teste do Software

O software foi escrito na linguagem de programação chamada Wiring que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, basicamente composta do conjunto das linguagens C e do C++. Os recursos como classes e objeto desenvolvida para a placa microcontrolada Arduino e usando a interface de desenvolvimento e compilação que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE).

Com o sensor de tensão e os sinais do sensor de corrente tratado, é posto em prática o teste para calcular a tensão, usando a biblioteca EmonLib.h e com o comando Serial.print o resultado obtido será impresso na tela do computador pela interface serial ligada ao Arduino. Neste teste foi usado um multímetro para comparação. A Figura 4.7 demonstra o código usado e a figura 4.8 o teste comparado com o multímetro.



```
Medidor_de_Tensao | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help

Medidor_de_Tensao$

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  emon1.voltage(2, 245, 1.7);
}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);

  float supplyVoltage = emon1.Vrms;
  Serial.println("Tensao rms:"); Serial.println(emon1.Vrms);
  Serial.println("");
  Serial.println("");
  delay(2000);
}
```

Done uploading.

Figura 4.7 – Código para cálculo da Tensão. (Fonte - Autor)

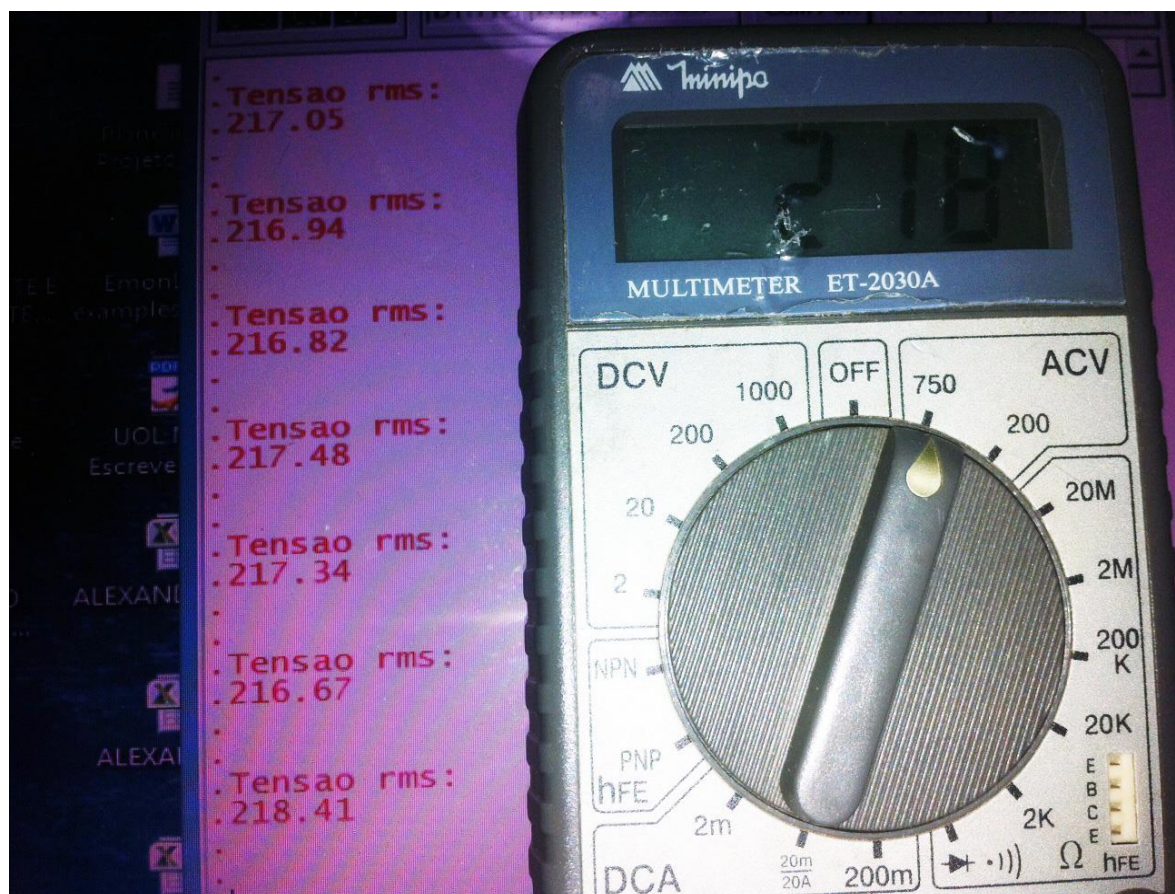


Figura 4.8 – Teste fase 1 comparação com multímetro.(Fonte – Autor)

4.5.1 Teste de Software Fase 2

Para uma segunda etapa de testes é introduzido o sensor não invasivo SCT – 013, no intuito que o cenário fique parecido a uma fase de uma residência. É introduzido um filtro de linha com quatro tomadas para que os pares que serão testados sejam alimentados. A conexão do sensor será feita descascando o cabo de alimentação do filtro de linha e introduzindo o fio positivo no interior do núcleo do sensor.

Os dados da variação da corrente terá que passar primeiro pela placa limitadora de carga e depois para o pino 1A do Arduino.



Figura 4.9 – Conexão do Sensor SCT – 013. (Fonte - Autor)

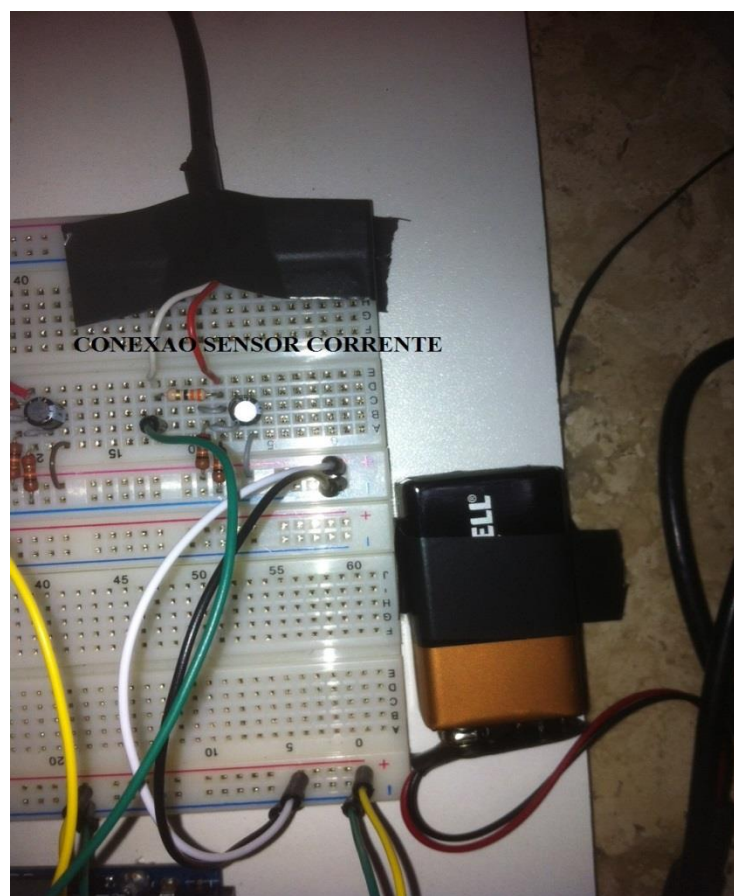


Figura 4.10 – Conexão cabos do sensor de corrente. (Fonte – Autor)



Figura 4.11 – Pino analógico A1 entrada da variação do sensor. (fonte – Autor)

É conectado outro dispositivo de saída de dados o display de cristal líquido 20 x 4, com ele os dados ficarão a disposição no dispositivo. Sua conexão no Arduino segue a sequência de pinos ilustra na Tabela 4.1 e a Figura 4.12 ilustra a inserção no código do display lcd.

Tabela 4.1 – Conexão dos pinos do display no Arduino. (Fonte - Autor)

Pino	Função	Descrição	PINOS ARDUINO
1	Alimentação	GND	GND
2	Alimentação	5V	5V
3	V0	AJUSTE CONTRASTE	GND
4	RS Seleção:	SINAL	DIGITAL 12
5	R/W Seleção:	ESCREVE	GND
6	E Chip select	ATIVA SINAL	DIGITAL 11
7	B0 LSB	DADOS	
8	B1	DADOS	
9	B2	DADOS	
10	B3	DADOS	
11	B4	DADOS	DIGITAL 5
12	B5	DADOS	DIGITAL 4
13	B6	DADOS	DIGITAL 3
14	B7 MSB	DADOS	DIGITAL 2
15	A (qdo existir)		5V
16	K (qdo existir)		GND



```

Consumo_Residencial | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help

Consumo_Residencial

EnergyMonitor emon1;          // cria uma instancia
double conta_acumulada;       // variavel que calcula o custo em reais
double potencia_acumulada;     // variavel que calcula o KW/h
double potencia_ativa;         // variavel que recebe o valor da Potencia Ativa
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // inicializa o display LCD nos respectivos p

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(20, 4); // Iniciando o objeto LCD de 4 linhas e 20 colunas
  lcd.clear();

  emon1.voltage(2, 246, 1.7); // Tensao: pino de entrada, voltagem, rede de defasagem.
  emon1.current(1, 61);       // Corrente: pino de entrada, constante do sensor de corre

}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);      // Calcula a tensao correspondente ao sinal de entrada
  lcd.setCursor(0,0); //
  lcd.print("Consumo Residencial"); // imprime consumo residencial na coluna 0, linha 0
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Pot. Ativa="); // imprime potencia ativa na coluna 0, linha 1 do LCD
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("KW/h="); // imprime KW/h na coluna 0, linha 2 do LCD
  lcd.setCursor(0,3);

```

Figura 4.12 - Código versão final com lcd. (Fonte - Autor)

Foi acrescentado nesta fase o módulo de comunicação remota XBee como ilustrado na Figura 4.13, seu funcionamento dispensa qualquer configuração no código o módulo fica monitorando a saída serial e todo dado exposto por esta saída será transmitido pelo módulo para o coordenador que esta conectado no computador localizado proximo.

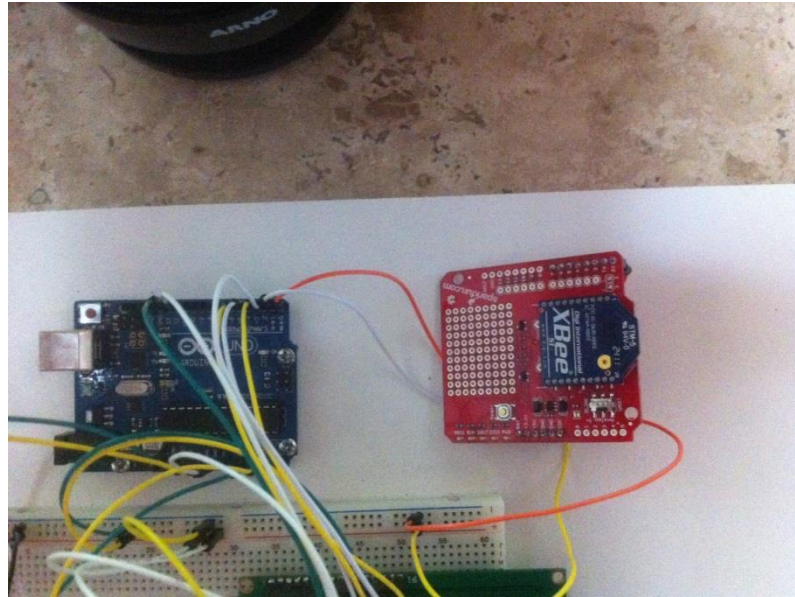


Figura 4.13 – Módulo XBee conectado ao modelo. (Fonte – Autor)

4.6 Testes com o Dispositivo

O teste proposto para o dispositivo é gerar uma tabela com um número de aparelhos com potências variadas, e a comparação será com as informações dos fabricantes contidas nos próprios aparelhos como a potência máxima e comparar com a potência medida pelo dispositivo. O resultado entre as potências que os fabricantes estipulam e a potências medidas serão analisadas e farão uma comparação de linearidade do sensor.

Tabela 4.2 – Tabela de comparação. (Fonte – Auto)

PRODUTO	FABRICANTE PÔT.MAX.	PÔT. MEDIDA	COMPARAÇÃO
NKS - Home Torradeira modelo 00927	700 W	714 W	+ 14 W = + 2%
NESCAFE Cafeteira DolceGusto	1340W	1164 W	- 150 W = - 12%
BLECK&DECKER FERRO DE PASSAR	1000 W	917 W	- 83 W = - 15,92%
AIWA TELEVISOR AR145	70 W	85w	+ 15 W = - 0.32%
ELETRULUX ASPIRADOR DE PO	1200 W	1140 W	- 60 W = - 5%
CORONA CHUVEIRO ELETRICO	7500 W	6380 W	- 1120 W = -14,94%

Observa-se uma variação pequena das medidas feitas pelo dispositivo medidor e as características informadas pelos fabricantes, tomando-se em conta que alguns aparelhos já passam de três anos de uso, o sensor de corrente em suas características mostra um erro de 3% que devemos levar em conta.

O dispositivo manteve um desempenho satisfatório, em todas as medidas, contando que as informações dos fabricantes podem conter diferenças de tensão de uma margem de segurança. As medições mantiveram uma margem relativamente pequena se comportando bem para um monitoramento de consumo de uma residência.

4.7 Apresentação do Modelo Gerado

O modelo gerado como ilustra a Figura 4.14, tem o propósito de monitorar uma residência monofásica possibilitando para o consumidor ter as informações em tempo real de seu consumo de kwh e o respectivo custo em moeda corrente. Possibilitando ainda um planejamento de gastos e consumo consciente, fazendo com que o consumidor tenha como reverter seus gastos de imediato sem precisar esperar as informações da prestadora de serviço.

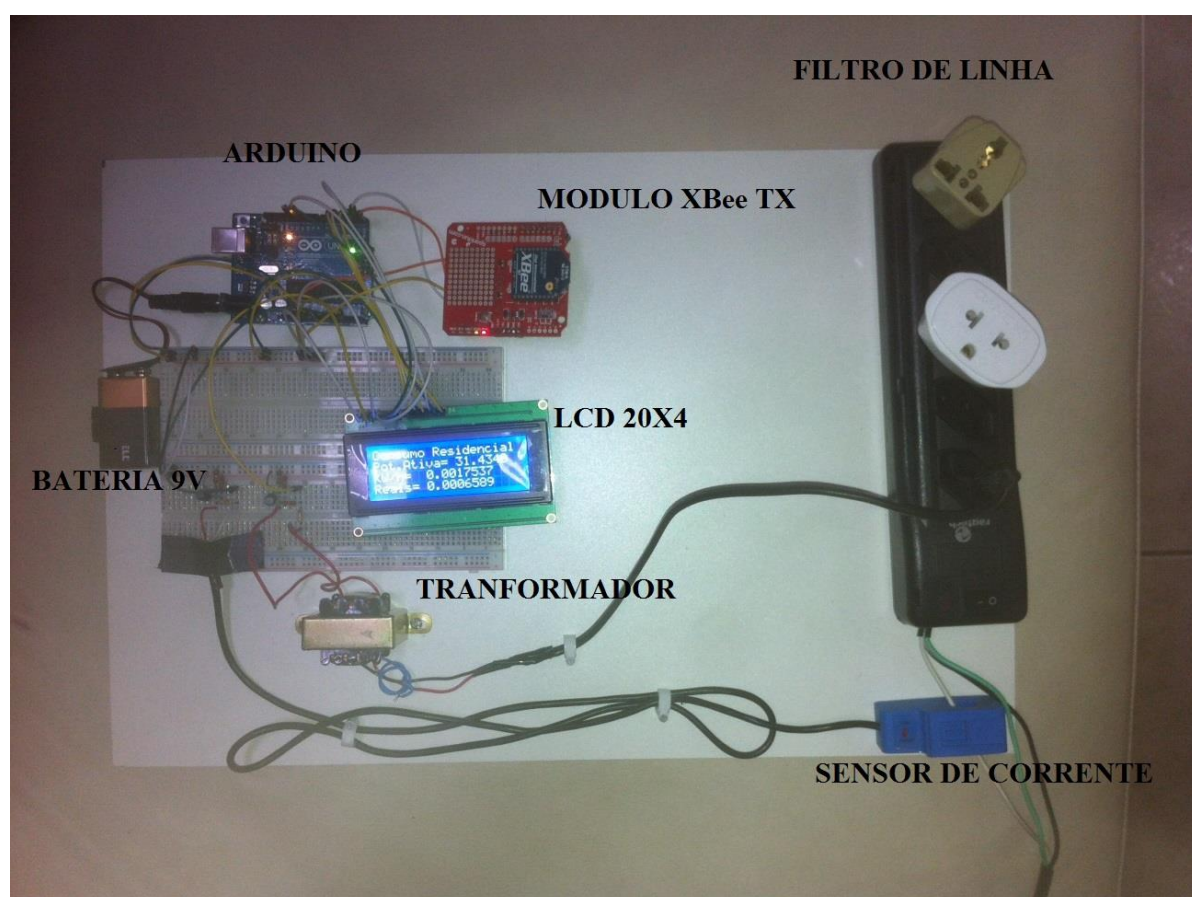


Figura 4.14 – Medidor de Consumo. (Fonte – Autor)

Capítulo 5. Considerações Finais

Este capítulo é reservado para as considerações finais como os comentários do que foi desenvolvido em todas as fases do projeto comentando todos os resultados obtidos e sugerindo para um novo projeto novas idéias para complementá-lo.

5.1 Conclusão

A automação tornou-se objeto de grande estudo e desenvolvimento em várias áreas, as empresas tomam conta deste tema, pois com ela veem a possibilidade de diminuir suas despesas, seja com mão de obra humana que tem um custo mais alto, seja com a economia esperada de energia ou o melhor aproveitamento do tempo na produção. Tais benefícios nem sempre são imediatamente repassados ao mercado consumidor em função da nova realidade de custos reduzidos junto às empresas.

No setor elétrico a automação para as concessionárias de energia elétrica vem nesse caminho de fazer primeiro a leitura do consumo remotamente, é um bom corte nas suas despesas com contratação de leitores, mais não é só isso. Podem proceder ao corte como o religamento remoto, a tarifação sazonal e o controle de qualidade da energia fornecida.

Mais as empresas veem aí uma despesa muito grande para proceder a troca de todos os relógios da população, e assim ficamos na espera de uma decisão que nunca vem.

Com esse problema o projeto vem para mesmo usando o nosso relógio atual conseguir uma leitura em tempo real e assim ter em mãos as informações recebidas da situação de consumo atualizada e podendo proceder a um gerenciamento mais rápido e racional começando a proceder a um consumo responsável e sustentável.

Com essa motivação chegamos ao concreto, o protótipo, para a situação de consumidor residencial foi escolhido um sensor de corrente não invasivo, por ser mais seguro, sendo seu funcionamento por indução a manipulação de fios de alta tensão esta descartada podendo ser usado sem nenhuma restrição. Contemplamos ainda o uso da rede wifi ZigBee muito usada para sensoriamento e com uma escalabilidade muito grande podendo aumentar muito sua área de atuação, com essa rede passaremos os dados para um computador situado remotamente e um display no local para leitura dos mesmos dados.

O microcontrolador Arduino se portou muito bem em todas as fases do desenvolvimento no seu processamento dos dados colhidos pelo sensor, foi acusado um pouco de ruído nos pinos analógicos quando o sensor de corrente está inativo.

Nos primeiros testes o modelo se portou muito bem, conseguindo obter os dados da tensão com precisão, confirmada por multímetro. Em uma segunda fase foi introduzida a variação da corrente para se obter a potência ativa consumida e se portou muito bem também, conseguindo obter as potências dos aparelhos colocados para teste com uma pequena defasagem da potência máxima fornecida pelos fabricantes, ficando com uma margem de defasagem em média de 10%. Para se ter maior precisão será melhor o uso de um analisador de energia para a comparação.

A comunicação com a rede wifi pelos módulos XBee foi muito boa os módulos suportaram bem a distância requerida pelo projeto e os dados não tiveram nenhuma perda ou interferência com outras redes existentes no local.

Finalizando o modelo de um relógio eletrônico é muito válido mesmo com as defasagens de leitura observadas, o índice de diferença não tira a importante finalidade de monitorar o consumo de uma residência monofásica. A leitura em tempo real é muito importante para um consumo responsável e a contribuição da classe residencial é importantíssima pelo seu volume que não para de crescer.

5.2 Trabalho Futuros

Para trabalhos futuros os dados recebidos do consumo poderiam ser melhor aproveitados com um armazenamento em um banco de dados e com uma descrição de todos os picos de consumo marcados com data e hora tendo assim o ciclo completo de monitoramento.

E um possível aumento no monitoramento para uma residência trifásica podendo assim alcançar a maioria das moradias brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em. < <http://aneel.gov.br>> acessado em 09 outubro de 2013.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em.
<www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno4capa.pdf> acessado em 09 outubro de

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em.
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/CONCERT%20CONTRIBUI%C3%87%C3%95ES%20Nota_T%C3%A9cnica_0013_2009.pdf> _ acessado em 09 de outubro de 2013.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em.
<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha_1p_atual.pdf> acessado em 09 outubro de 2013.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em.
<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/release_atividades_da_ANEEL.pdf> acessado em 10 de outubro de 2013.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em.
http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha%20CEB_PDF.pdf acessado em 10 de outubro 2013

ARDUINO. Disponível em <http://www.arduino.cc>. Acessado em 15 outubro de 20013.

BALAN, Carlos H. M.. Automação de Medidores de Energia Elétrica. Graduação Engenharia Elétrica. PUC Minas Campus Poços de Caldas. 2010

COELBA. Disponível em <http://servicos.coelba.com.br/comercial/aprenda-a-ler-seu-medidor> Acessado outubro de 2013

CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. 15ª ed. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro 2008.

CURSO ARDUINO. Disponível em.
http://www.inf.ufes.br/~erus/arquivos/ERUS_minicurso%20arduino.pdf Acessado 20 agosto de 2013.

GE Disponível em.

http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/i210_Installation.pdf Acessado em 12 outubro de 2013.

GREENPEACE. Revolução Energética - A Caminho do Desenvolvimento Limpo. 1ª ed. Editado Cristina Amorim, 2010. Disponível em.

www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF. Acessado em 18 agosto 2013

LANDISGYR EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA. Disponível em:

<http://www.landisgyr.com.br>. Acessado em outubro 2013.

McROBERTS, M.. Arduino Básico, 1ª ed. (Zanolli, R, Trad.), Editora Novatec; 2012.

MINGUEZ, Agustin. Medidores de Energia Ativa: Funcionamento, Práticas Usuais, Principais Ensaios e Análises das Fraudes Mais Comuns. Graduação Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007

MEDEIROS FILHO, Solon de. Medições de Energia Elétrica. 3ª ed. Editora Guanabara Dois S.A. Rio de Janeiro, 1983.

MORAES, Alexandre Fernandes de Moraes. Redes Sem Fio – Instalação e Configuração. 1ª ed. Editora Érica, 2010.

OLIVEIRA, Celso Marcelo de. Energia Renovável. 1ª ed. Disponível em.

<http://pt.calameo.com/read/00020096870b93510ec6c> acessado em 15 de agosto de 2013

OPENENERGYMONITOR. Disponível em:

<http://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/report-yhdc-sct-013-000-current-transformer> acessado em 20 de agosto 2013

PROJETOS DE REDE. Disponível em.

http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php Acessado em outubro de 2013.

ROGERCOM. Disponível em: <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag03.htm>

Acessado em 18 de outubro 2013

SILVEIRA, Joao Alexandre de. Cartilha para Programação em C para Arduino. 1ª ed.

Disponível em <http://www.revistadoarduino.com.br> acessado em outubro de 2013.

TELECO. Disponível em. http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_1.asp, Acessado em 05 de outubro de 2013.

THOMAZINI, Daniel e ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações. 4^a ed. Editora Érica.

SAN JUAN SOFTWARE. Application Development For ZigBee Wireless Networking
<http://www.zigbee.org/zigbee/en/events/documents/sensorexpo/2-sensors-expo-gislason.pdf> Acessado em 15 outubro de 2013

APÊNDICE A

Tabela 6.1 – Custo geral do projeto

Produto	Quantidade	Preço Unit. R\$	Preço Total R\$
Arduino	01	69,00	69,00
Transformador	01	22,00	22,00
Sencor de Corrente	01	69,00	69,00
Display LCD	01	25,00	25,00
Kit XBee	01	330,00	330,00
Junpes	kit	13,00	13,00
Filtro de Linha	01	25,00	25,00
Protoboard	2	32,00	64,00

Total = R\$ 617,00

APÊNDICE B

```

//////////  CONSUMO RESIDENCIAL  ////////////

////// AUTO MARCOS JOSÉ DE CARVALHO FONTES
//// PROGRAMA PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÈTRICA

#include "EmonLib.h"    // Inclui a biblioteca Emon Lib que calcula tensão e corrente
#include <LiquidCrystal.h> // Inicializa a biblioteca Display de Cristal Líquido

EnergyMonitor emon1;      // cria uma instância
double conta_acumulada;   // variável que calcula o custo em reais
double potencia_acumulada; // variável que calcula o KW/h
double potencia_ativa;    // variável que recebe o valor da Potência Ativa
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // inicializa o display LCD nos respectivos pinos do
Arduino

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(20, 4); // Iniciando o objeto LCD de 4 linhas e 20 colunas
  lcd.clear();      // Limpa a tela do lcd

  emon1.voltage(2, 246, 1.7); // Tensão: pino de entrada, voltagem, rede de defasagem.
  emon1.current(1, 61);      // Corrente: pino de entrada, constante do sensor de corrente.

}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);    // Calcula a tensão correspondente ao sinal de entrada

```

```

lcd.setCursor(0,0);          // Coloca o cursor na posição coluna 0 , linha 0
lcd.print("Consumo Residencial"); // imprime consumo residencial na coluna 0, linha 0 do
LCD
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Pot.Ativa="); // imprime potência ativa na coluna 0, linha 1 do LCD
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("KW/h="); // imprime KW/h na coluna 0, linha 2 do LCD
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Reais="); // imprime reais na coluna 0, linha 3 do LCD

```

```

float realPower    = emon1.realPower;    //recebe o valor da potencia ativa

```

```

potencia_acumulada=potencia_acumulada+(realPower/3600000); // calcula o KW/h e
acumla na variavel
conta_acumulada=potencia_acumulada*0.3756949; // calcula o custo em reais do KW/h e
acumula na variavel
Serial.print("Potencia Ativa = ");
Serial.print(realPower,4);
Serial.print(" Watts ");
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(realPower,2);
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.print("Potencia Acumulada = ");
Serial.print(potencia_acumulada,7);
Serial.print(" KW/h ");
lcd.setCursor(7,2);
lcd.print(potencia_acumulada,7);
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");

```

```
Serial.print("Conta Acumulada = ");
Serial.print(" R$ ");
Serial.print(conta_acumulada,7);
lcd.setCursor(7,3);
lcd.print(conta_acumulada,7);
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
Serial.print(" Segundos = ");
Serial.print(millis()/1000);    // Contagem em segundos o dispositivo esta funcionando
Serial.println(" ");
Serial.println(" ");
delay(2000);

}
```